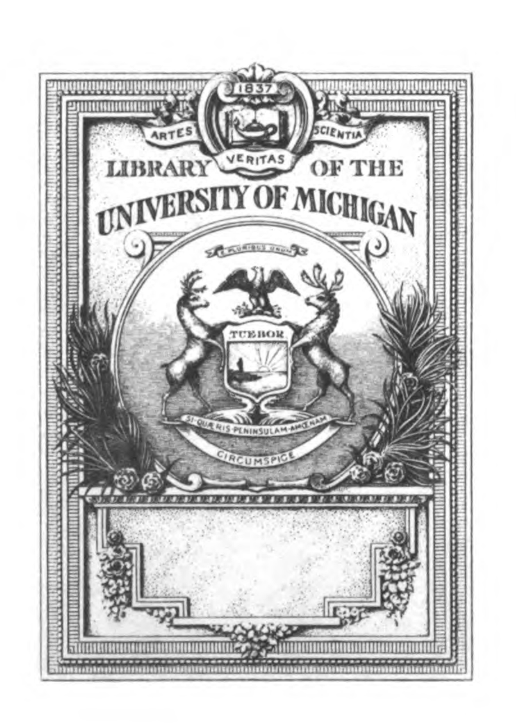

1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUÆRIS PENINSULAM AMŒNAM
CIRCUMSPICE

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Dreiundvierzigster Jahrgang 1923.



Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1923.

Inhaltsverzeichnis.

Kleine Mitteilungen.

Referate.

Bücherbesprechungen.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, W. Breithaupt in Cassel, M. Edelmann in München, P. Guthnick in Neubabelsberg, O. Günther in Braunschweig, W. Haensch in Berlin, E. v. Hammer in Stuttgart, K. Haußmann in Berlin, W. Hildebrand in Freiberg i. S., E. Kohlschütter in Potsdam, H. Krüss in Hamburg, H. Ludendorff in Potsdam, O. Lummer in Breslau, H. Maurer in Berlin, W. Nernst in Berlin, C. Pulfrich in Jena, M. v. Rohr in Jena, W. Sartorius in Göttingen, R. Steinheil in München, R. Straubel in Jena, E. Warburg in Berlin, F. Weidert in Berlin, A. Westphal in Berlin, E. Wiechert in Göttingen.

Schriftleitung: F. Göpel in Charlottenburg.

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

1. Heft: Januar.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1923.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 250,— für Monat Januar 1923 bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 360,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal. Aufnahme
	10	20	30 % Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23 24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzei‚cn, Beilag‹n un‌l B ic ırbe‌zug: Berlin Nr. 118 9‌5 Juliu• Spring r.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **Januar 1923.** Erstes Heft.

Der Stereoplanigraph der Firma Carl Zeiss, Jena.

Von
Dr. **Otto v. Gruber** in München.

I.

Das Instrument und seine Einrichtungen.

Einleitung.

Der Stereoplanigraph ist ein geodätisches Instrument, das dazu dient, aus Bildpaaren die Oberfläche räumlicher Gebilde kartenmäßig darzustellen. Er ist ein binokularer Perspektograph und ist hinsichtlich der Orientierung der Aufnahmen an keine andere Voraussetzung gebunden als die, daß beide Aufnahmen dasselbe Objekt so darstellen, daß bei gleichzeitiger Betrachtung mit beiden Augen noch ein virtuelles räumliches Bild entsteht. Infolgedessen eignet sich der Stereoplanigraph besonders zur Kartenzeichnung nach Luftaufnahmen. Er gestattet aber in gleicher Weise auch aus Erdaufnahmen Pläne herzustellen. Diese Pläne geben nicht nur den Grundriß der Objekte, sondern auch die Oberflächenform, die in Schichtlinien dargestellt wird.

In der Entwicklung der Stereophotogrammetrie stellt der Stereoplanigraph eine wesentliche Neuerung dar:

1901 hatte Prof. C. Pulfrich den „Stereokomparator“ und damit die erste Grundlage der Stereophotogrammetrie geschaffen. Aus Stereogrammen konnten die Bildkoordinaten mit ausreichender Schärfe gemessen und daraus die Lage von Neupunkten berechnet oder graphisch bestimmt werden.

1909 gab Oblt. v. Orel die Grundlage für eine Konstruktion, um aus dem Stereokomparator durch Hinzufügen eines Hebelsystems ein Instrument zu machen, das im sogenannten Normalfall der Stereophotogrammetrie punktweises Auftragen von Schichtlinien ermöglichte.

Diese Grundidee v. Orels ist durch Prof. C. Pulfrich dadurch zu einem vollständigen Stereoautograph entwickelt worden, daß er die Angriffspunkte für die Bewegungen vom Stereokomparator wegnahm und an den Ort des jeweils auszumessenden Neupunktes verlegte.

1911 hat die Firma Carl Zeiss den „v. Orel-Zeissischen Stereoautograph“ gebaut, der bereits als weiteren Konstruktionsfortschritt das Zeissische Parallelogramm 1. Art (vgl. Fig. 7) enthielt und dadurch für alle Fälle der Erdstereophotogrammetrie, bei welchen die Kammerachsen zwar horizontal, aber sonst beliebig gerichtet sind, verwendbar ist.

1913 fand der Verfasser, daß mit dem Modell 1911 des Stereoautograph unter gewissen Voraussetzungen auch Luftaufnahmen ausgearbeitet werden können, bei

welchen die Kammerachsen gegen den Horizont nicht mehr als 30° geneigt sind. Zur selben Zeit fand Dr.-Ing. Sander zusätzliche Änderungen des Stereoautograph, die ebenfalls dazu dienten, die Ausarbeitung von Flugaufnahmen zu ermöglichen. Diese Änderungen Dr. Sanders gehen so weit, daß die Aufnahmerichtungen an keine andere Bedingung mehr hinsichtlich der Orientierung geknüpft sind, als Bilder mit Raumeindruck zu geben. Damit hatte Dr. Sanders als erster die allgemeinste Aufgabe der Stereophotogrammetrie theoretisch gelöst.

Eine vereinfachte Ausführung der Sanderschen Vorschläge wurde an dem „Stereautograph Modell 14 mit Zusatzeinrichtung für Luftaufnahmen" angebracht und ermöglicht Schichtlinien zu zeichnen aus Aufnahmen, deren Kammerachsen gegen den Horizont bis zu 25° geneigt sind. Außerdem wurde 1914 am Stereoautograph außer der Zeichenvorrichtung für Grundriß auch eine solche für Aufrißzeichnung angebracht. Die Ausführung der Sanderschen Vorschläge für den allgemeinsten Fall bedingte einen verhältnismäßig komplizierten Hebelmechanismus. Deshalb wurden andere Lösungen gesucht und gefunden.

1918 hatte Prof. C. Pulfrich Vorschläge für die Konstruktion eines solchen Instrumentes gemacht, daß er „Stereoplanigraph" nannte und bei welchem der Stereokomparator durch Bildmessung nach Koppe-Porroschem Prinzip ersetzt war.

1919 wurde der Firma Zeiss von verschiedenen Mitarbeitern eine Reihe weiterer Erfindungen vorgelegt, die in mannigfaltigster Weise Lösungen der allgemeinsten Aufgabe der Stereophotogrammetrie darstellten.

1920 publizierte Prof. Hugershoff zum ersten Male über die bei der Firma Heyde durchgeführte Konstruktion des „Autokartograph". Dieser lehnt sich in einigen Teilen an den v. Orell-Zeissischen Stereoautograph an, führt aber, nicht unähnlich wie schon 1918 Prof. Pulfrich, statt des Stereokomparators ein Meßsystem nach Koppe-Porroschem Prinzip ein. Er stellt die erste praktische Ausführung für eine Lösung der allgemeinstem Aufgabe der Stereophotogrammetrie dar.

1920 fand Dr.-Ing. Bauersfeld für die allgemeine Aufgabe eine neue Lösung, die jetzt bei der Firma Carl Zeiss zur Ausführung gelangt. Der erzielte Fortschritt besteht darin, daß:

1. Präzisionslineale oder Präzisionsgeradeführungen auf längere Strecken nicht mehr vorkommen, sondern an Stelle der Lineale Lichtstrahlen verwendet werden.

2. Infolge der Anordnung der Betrachtung vom Orte des Neupunktes aus und der Einrichtung des Projektionssystemes auch Aufnahmen stereoskopisch ausgearbeitet werden können, die sonst keinen Stereoeindruck mehr ergeben würden.

Grundlagen.

a) Geodätische Grundlagen.

Die Aufgabe, einen Punkt geodätisch festzulegen, läßt sich in mehrfacher Weise lösen. Sieht man von den Methoden ab, die darin bestehen, von einem bekannten Punkt aus Richtung und Entfernung zu bestimmen, so bleiben als wichtigste die des Vorwärts- und des Rückwärtseinschneidens. Beide Methoden lassen sich entweder mittels Winkelmessung oder mittels Richtungsmessung ausführen.

Bei der Methode des Vorwärtseinschneidens mittels Richtungsmessung werden von zwei gegebenen Standpunkten aus die Richtungen nach dem Neupunkt gemessen. Diese Richtungsmessungen werden im allgemeinen unter Benutzung von Richtungen nach bekannten Punkten ausgeführt. Sie können aber auch unmittelbar gegen eine

bestimmte Ausgangsrichtung — z. B. mit der Bussole — gemacht werden. Will man aus den Richtungen die Lage des Punktes finden, so ist es notwendig, außer den gemessenen Richtungen noch die Lage der Standpunkte in dem Koordinatensystem zu kennen, auf das sich die Richtungen beziehen.

Die gemessenen Richtungen ergeben zusammen mit der Richtung von einem Standpunkt zum andern ein Dreieck, dessen Form stets gleich bleiben wird, welches auch die Länge des Abstandes der beiden Standpunkte ist. Sind die Richtungen zwischen den Standpunkten und von den Standpunkten nach dem Neupunkt im Raum bestimmt, so ist auch das Dreieck im Raum festgelegt (vgl. auch Fig. 6). Statt der Richtungsmessungen im Raum können aber mit dem gleichen Endergebnis die Projektionen der Richtungen auf Grundriß und Aufriß bestimmt werden. Doch können sich nachträglich bei der konstruktiven Durchführung einer Punktbestimmung Schwierigkeiten ergeben. Liegt z. B. der Neupunkt im Grundriß ungefähr in der Verbindungslinie der beiden Standpunkte, räumlich aber so, daß sich die räumlichen Richtungen von den Standpunkten aus im Punkt unter einem rechten Winkel schneiden, so ist der Punkt räumlich sehr gut vorwärts abgeschnitten, dagegen ist eine Durchführung der Konstruktion im Grundriß nicht möglich. Eine Methode, die einen Neupunkt durch räumliches Vorwärtseinschneiden festlegt, wird deshalb gegen eine Methode im Vorteil sein, die vorher die Richtungen in bestimmte Rißebenen projizieren muß. Die Festlegung kann bei beiden Methoden in bezug auf ein beliebiges räumliches Koordinatensystem erfolgen, wenn nur die Orientierung der Standpunkte und der Richtungen gegen dieses Koordinatensystem bekannt ist. Erfolgt die Festlegung kartenmäßig, so ist der Maßstab des räumlichen Dreieckes durch den Abstand der Standpunkte im Kartenmaßstab bedingt.

Bei der Methode des Rückwärtseinschneidens mit Richtungen müssen im allgemeinen die Richtungen nach drei bekannten Punkten vom Neupunkt aus gemessen werden. Dies ist aber nur nötig, wenn die vom Neupunkt aus gemessenen Richtungen nicht unmittelbar gegen eine bestimmte Ausgangsrichtung orientiert gemessen werden können. Erfolgt dagegen die Richtungsmessung etwa mit der Bussole, so genügen für den Rückwärtseinschnitt die Richtungen nach zwei bekannten Punkten. Das durch diese beiden Richtungen in Verbindung mit der Richtung zwischen den beiden bekannten Punkten bestimmte räumliche Dreieck gleicht völlig dem durch Vorwärtsabschnitt bestimmten Dreieck.

Verwendet man orientierte Richtungsmessungen, so unterscheidet sich die Methode des Vorwärtseinschneidens von der des Rückwärtseinschnittes nur dadurch, daß man im einen Fall die beiden zur Punktbestimmung benötigten Richtungen von den beiden bekannten Punkten aus mißt, im andern Fall vom Neupunkt aus. In beiden Fällen muß außer den Richtungen die Beziehung der bekannten Punkte auf ein räumliches Koordinatensystem gegeben sein.

b) Optische Grundlagen.

Bringt man ein Objekt in die Brennebene einer Linse (vgl. Fig. 1), so erfolgt durch diese eine Abbildung in unendlicher Entfernung, d. h. die Strahlen, welche von einem Punkt des Objektes in verschiedenen Richtungen ausgehen und durch die Linse gebrochen werden, schneiden sich nach Durchgang durch die Linse in unendlicher Entfernung. Sie sind parallel. Für ein Auge, welches das Objekt durch die Linse hindurch betrachtet, erscheint es wie ein unendlich ferner Gegenstand: Bei einer Ortsveränderung des Auges erscheint ein Punkt immer in derselben Richtung,

solange überhaupt die Austrittspupille der Linse den Punkt zu sehen gestattet. Hieraus folgt:

Befestigt man in einer photographischen Kammer das Bild in derselben Orientierung zum Objektiv wie bei der Aufnahme, orientiert die Kammer gegen ein bestimmtes räumliches Koordinatensystem genau so wie im Augenblick der Aufnahme und beleuchtet das Bild von rückwärts, so wird man durch das Objektiv hindurch die Bilder der verschiedenen Punkte in genau denselben Richtungen sehen können, wie die Richtungen der Lichtstrahlen von den Punkten zur Kammer im Augenblick der Aufnahme waren.

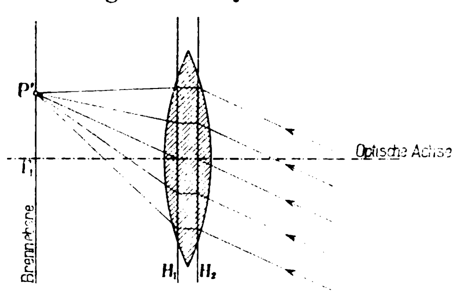


Fig. 1. Schema der Kammer.

Diese Richtungen können mit Hilfe eines Fernrohres gemessen werden, das um einen Punkt drehbar ist, der in verschiedener Richtung durch das Objektiv zu blicken gestattet. Wo dieser Punkt liegt, ist für die Winkelmessung gänzlich gleichgültig, da ja alle Lichtstrahlen, die vom selben Punkt ausgehen, nach Durchdringung des Objektives parallel sind. Man wird also irgendeinen Punkt, der genügend Einblick durch das Objektiv bietet, zum Drehungspunkt des Fernrohres machen und dann dieselben Richtungen erhalten wie vom Standpunkt der Aufnahme aus. Der Drehungspunkt des Fernrohres entspricht also geometrisch dem Standpunkt. Praktisch wird man den Drehungspunkt mit Hilfe eines Kardangelenkes ungefähr in den dem Fernrohr zugekehrten Hauptpunkt des Objektives legen, damit die mittlere Abblendung klein bleibt.

Bei Verwendung eines Fernrohres zur Richtungsmessung wird der Punkt, nach dem die Richtung eingestellt ist, auf die Marke des Fernrohres abgebildet. Drehungspunkt des Fernrohres und die mit der Marke eingestellte Richtung bestimmen eindeutig den Standpunkt und die räumliche Richtung nach dem Neupunkt. Durch Verwendung einer zweiten Kammer mit entsprechender Orientierung und eines zweiten Fernrohres läßt sich also auch die Richtung vom zweiten Aufnahmestandpunkt nach dem Neupunkt festlegen.

Statt die Richtung nach einem Neupunkt mit einem Fernrohr zu bestimmen, kann man zu dem Objektiv ein Linsensystem so hinzufügen, daß die Abbildung nicht mehr in unendlicher Entfernung erfolgt, sondern in einer gewünschten endlichen, d. h. auf irgendeine Marke P (vgl. Fig. 2). Die Richtung vom Standpunkt nach dem Neupunkt ist dann durch die Richtung von dem der Marke zugekehrten Hauptpunkt des Zusatzsystems H_{zus2} nach der Marke bestimmt. Für verschiedene

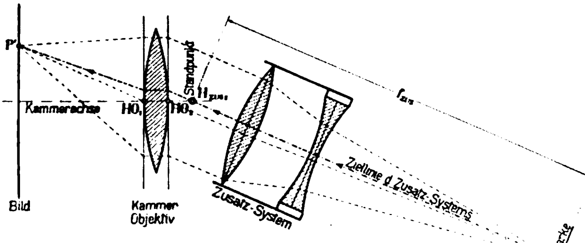


Fig. 2. Schema der Kammer mit Zusatzsystem.

Richtungen wird der der Marke zugekehrte Hauptpunkt des Zusatzsystems den Standpunkt darstellen, sofern er seinen Ort nicht ändert. Man kann weiter durch die Marke selbst den Neupunkt darstellen lassen, wenn man in der Lage ist, sie in verschiedene Entfernungen von dem den Standpunkt darstellenden Hauptpunkt des Zusatzsystems zu bringen und gleichzeitig scharfe Abbildung eines Bildpunktes P' auf die Marke P zu erzielen. Um letzteres zu erreichen, muß das Zusatzsystem bei veränderlicher

Brennweite den der Marke zugekehrten Hauptpunkt in unveränderlicher Lage besitzen. Da die aus dem Kammerobjektiv austretenden Strahlen für jeden Bildpunkt parallel sind, wird die Entfernung, in der das Zusatzsystem abbildet, gleich seiner jeweiligen Brennweite f_{zus} sein.

Jede Kombination von zwei Linsen hat die Eigenschaft, daß die Brennweite des Systems sich ändert, sobald man den Abstand der einzelnen Linsen ändert. Insbesondere gilt dies von einer Kombination einer Sammel- mit einer Zerstreuungslinse, wie sie beim Teleobjektiv vorkommt (vgl. Fig. 3). Für unsere Zwecke besonders günstige Eigenschaften hat eine Kombination einer Sammellinse mit einer Zerstreuungslinse von gleicher Dioptrienzahl. Ist „e" die Entfernung der optisch aufeinander folgenden Hauptebenen auf dem Weg von der Sammel- zur Zerstreuungslinse und „d" die Dioptrienzahl der einzelnen Linsen, so ist die Dioptrienzahl „D" des Systems in diesem Fall:

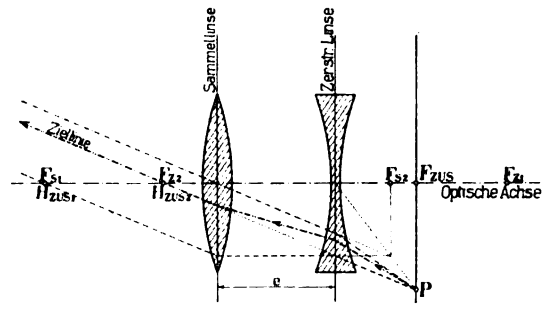


Fig. 3. Schema des Zusatzsystems. (Teleobjektiv.)

$$D = d^2 \cdot e.$$

Es liegen ferner die Hauptpunkte des Systems außerhalb desselben. Sein vorderer Hauptpunkt H_{zus1} fällt zusammen mit dem vorderen Brennpunkt der Sammellinse F_{s1}. Der rückwärtige Hauptpunkt des Systems H_{zus2} fällt zusammen mit dem rückwärtigen Brennpunkt der Zerstreuungslinse F_{z2}. Der Abstand der beiden Hauptpunkte des Zusatzsystems ist selbst auch ungefähr gleich e.

Eine Änderung von e hat keine Änderung in der Lage des rückwärtigen Systemhauptpunktes zur Folge, wenn man e durch Verschieben der Sammellinse ändert. Dabei können schon verhältnismäßig recht kleine Änderungen von e sehr erhebliche Änderungen von D bzw. der zugehörigen Brennweite f_{zus} bewirken. Für eine Kombination zweier Linsen von + 25 Dioptrien und − 25 Dioptrien ergeben sich z. B. folgende Wertepaare:

e (in mm)	2,5	3,2	4,0	8,0	16,0	20,0
f_{zus} (in cm)	64	50	40	20	10	8

Einer Verschiebung der Sammellinse um nur 17,5 mm würde also eine Brennweitenänderung von 8 auf 64 cm entsprechen. Dabei hat der letzte Hauptpunkt des Systems H_{zus2} einen Abstand von 4 cm von der letzten Hauptebene der Zerstreuungslinse, liegt also noch **vor** der Sammellinse. Infolgedessen kann er so justiert werden, daß er mit dem dem Zusatzsystem zugekehrten Hauptpunkt des Kammerobjektives H_{02} ungefähr zusammenfällt.

Macht man das System um seinen letzten Hauptpunkt H_{zus2} drehbar, so stellt dieser Drehungspunkt zugleich den Standpunkt für die Richtung nach dem Neupunkt dar und ist wegen der eben besprochenen Eigenschaften des Zusatzsystems völlig unabhängig von der Richtung, in die das Zusatzsystem gerade eingestellt ist. Um die Verzeichnung der Linsen nicht wirksam werden zu lassen, hat man nur nötig, die optische Achse des Systems **ungefähr** in die Richtung der Ziellinie nach dem Neupunkt einzustellen. Diese Eigenschaft, der von Dr. **Bauersfeld** entdeckten Konstruktion ist deshalb außerordentlich wichtig, weil dadurch die Bedingung entfällt,

zwischen dem Projektionszentrum und dem Neupunkt mechanisch ein streng geradliniges Lineal einzufügen, dessen Herstellung und Erhaltung große Schwierigkeit bereiten würde.

Durch die Verbindung von Kammerobjektiv und Zusatzsystem wird sowohl das Bild auf die Marke abgebildet wie auch umgekehrt die Marke auf das Bild. Bringt man die Marke in eine solche Lage, daß ihre Abbildung auf der Bildebene mit einem bestimmten Punkt zusammenfällt, so ist durch Marke und Drehungspunkt des Zusatzsystems die Richtung vom Standpunkt nach dem Neupunkt bestimmt. Das Zusammenfallen der Abbildung der Marke mit dem Bildpunkt muß jedoch durch ein Betrachtungssystem beobachtet werden. In diesem Falle wäre das Betrachtungssystem hinter dem Bilde anzubringen. Man kann aber auch umgekehrt die Kammer in eine solche Lage zur Marke bringen, daß die Abbildung eines bestimmten Bildpunktes auf die Marke mit der Marke zusammenfällt. Dann ist ebenfalls durch Drehpunkt des Zusatzsystems und Marke die Richtung vom Standpunkt nach dem Neupunkt bestimmt, doch ist nun das Zusammenfallen der Abbildung des Bildpunktes mit der Marke durch ein Betrachtungssystem zu beobachten. In diesem Falle müßte das Betrachtungssystem hinter der Marke liegen. Es hätte aber in diesem Falle noch weiter das Zusatzsystem in Verbindung mit der Meßmarke und dem Betrachtungssystem genau dieselbe Rolle wie das früher geschilderte Meßfernrohr zu spielen: Das Zusatzsystem stellt das Fernrohrobjektiv vor, die Marke die Meßmarke des Fernrohres, das Betrachtungssystem das Fernrohrokular. In dieser Auffassung ist das Fernrohr nur etwas ungewöhnlich gebaut, insofern als zwischen Objektiv und Meßmarke keine feste Verbindung besteht, ja mehr noch das Objektiv sogar eine variable Brennweite besitzt. Auch das Betrachtungssystem wird besondere Einrichtungen erfahren müssen, damit man nicht genötigt ist, beim Durchblicken den Kopf in unmöglicher Weise verdrehen zu müssen.

Man kann noch weiter gehen. Bekanntlich kann man sich jedes Mikroskop entstanden denken dadurch, daß man ein Objekt durch eine Lupe hindurch mit einem Fernrohr betrachtet. Das Objektiv der Kammer stellt nun in diesem Sinne eine Lupe dar und mithin die ganze Einrichtung ein Mikroskop, das dazu dient, die Richtung nach einem Punkt auf der Bildplatte zu messen. Dabei ist in diesem Mikroskop die erste Lupe gegen das erste Objektiv beliebig verdrehbar, das erste Objektiv von variabler Brennweite, die Meßmarke gegen das Objektiv beliebig verschiebbar und schließlich das Okularsystem optisch verwindbar, so daß alle Bewegungen ausgeführt werden können, ohne daß der Beobachter seinen Kopf rührt.

Wie steht es nun mit der Vergrößerung dieses Mikroskopes? Sie läßt sich berechnen als das Produkt aus der Vergrößerung der Lupe und des Fernrohres. Die erstere ist 0,25 : Brennweite der Kammer, die letztere Brennweite des Fernrohrobjektives (Zusatzsystems) : Brennweite des Okularsystems. Damit ergibt sich die Vergrößerung auch als:

$$\text{Mikroskopvergr.} = \frac{\text{Vergr. d. Okulars} \times \text{Brennweite des Zusatzsystems}}{\text{Brennweite der Kammer}}.$$

Da die Brennweite des Zusatzsystems variabel ist und zwar genau proportional dem Abstand der Marke vom Standpunkt, so ist auch die Vergrößerung des Mikroskopes variabel, und zwar genau proportional dem Abstand von Marke und Standpunkt oder auch proportional dem Abstand von Neupunkt und Standpunkt. Nun bildet sich bei der Aufnahme ein Objekt um so kleiner ab, je größer sein Abstand vom Stand-

punkt ist, im Mikroskop aber um so größer, je größer derselbe Abstand ist. Die Verkleinerung bei der Aufnahme ist: Brennweite der Kammer : Abstand s. Die Vergrößerung mit Mikroskop ist: Okularvergrößerung $\times s \times$ Kartenmaßstab: Brennweite der Kammer. Mithin erscheint das Objekt dem Beobachter in der Größe: natürliche Größe: Okularvergrößerung $\times$ Kartenmaßstab, d. h. stets in gleicher Größe, ob es sich weit oder nahe vom Standpunkt befunden hat.

Für die Konstruktion des Betrachtungssystems ist die Lösung der Aufgabe erforderlich, die darin besteht, einer Ziellinie, deren dem Beobachter nächster Teil eine feste Richtung hat, eine beliebige Richtung im Raum zu erteilen. Diese Aufgabe wurde durch die Firma Zeiss entsprechend D.R.P. Nr. 346027 vom 11. Januar 1921 durch Konstruktion eines optischen Kardangelenkes gelöst. Dieses besitzt zwei zueinander normale mechanische Achsen, die kardanisch angeordnet sind, d. h. so, daß die eine der beiden Achsen K_1 um die andere K_2 drehbar gelagert ist (vgl. Fig. 4). Das optische Kardangelenk wird dadurch erreicht, daß die Lichtstrahlen durch Spiegelanordnungen so reflektiert werden, daß sie beim Übertritt von einem Gelenkstück in das andere in der Richtung der den Gelenkstücken gemeinsamen mechanischen Achse verlaufen. Entsprechend Fig. 4 treffen die vom Zusatzsystem kommenden Lichtstrahlen auf die Markenebene, die so gelagert ist, daß sich die Marke P im Schnittpunkt der beiden Kardanachsen K_1 und K_2 befindet. Dabei liegt die erste (bewegliche) Kardanachse K_1 stets in der Markenebene. Fallen also die Lichtstrahlen normal auf die Markenebene, so stehen sie auch normal zur ersten Kardanachse und werden nun durch ein erstes Prismensystem in die Richtung der ersten Kardanachse reflektiert und zwar so, daß die Ziellinie durch die Marke mit der mechanischen Kardanachse zusammenfällt. Sie tritt in dieser Lage in das zweite Gelenkstück über und wird dort durch ein zweites Prismensystem so reflektiert, daß die Richtung der Lichtstrahlen in die Richtung der zweiten Kardanachse kommt und die Ziellinie mit der mechanischen zweiten Achse zusammenfällt. Infolge dieser Anordnung ist es möglich, die Markenebene durch einen Lenker stets normal zur Ziellinie zu stellen und trotzdem das Ziel durch ein festgelagertes Okular zu betrachten. Die Einrichtung wäre jedoch ohne einen Zusatz unvollkommen: Verdreht man nämlich die Markenebene und das zweite Kardanglied um ihre Achsen, so werden die reflektierenden Flächen des einen Gliedes gegen die des anderen ihre Lage verändern, verdreht werden. Dieser Umstand bewirkt für den Beschauer eine Verdrehung (Stürzen) des Bildes. Der der Ziellinie entsprechende Punkt würde an seiner Stelle bleiben, aber die übrigen Punkte würden sich um ihn drehen. Dieses Stürzen des Bildes läßt sich dadurch vermeiden, daß man ein Dovesches Prisma in den Strahlengang einschaltet.

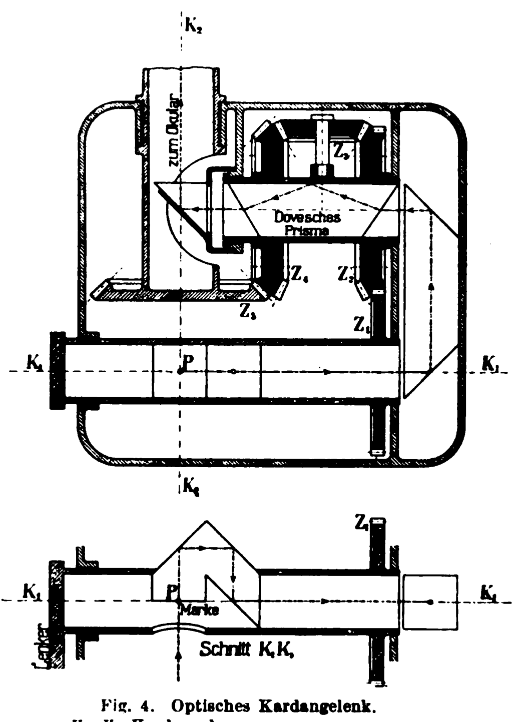


Fig. 4. Optisches Kardangelenk.
K_1 K_2 Kardanachsen.
$Z_{1\,2\,3\,4\,5}$ Zahnräder für Bildaufrichtung.

Während durch Verdrehen der Kardanglieder gegeneinander die Bilder jeweils um den Verdrehungswinkel stürzen würden, bewirkt eine Drehung des Doveschen Prismas um den halben Winkel ein Stürzen oder je nach dem Drehsinn eine Wiederaufrichtung des Bildes um den ganzen Winkel. Man hat also die Einrichtung so zu treffen, daß bei jeder Drehung eines der Kardanglieder das Dovesche Prisma um den halben Winkel im Gegensinn verdreht wird. Dies ist durch eine Zahnradanordnung nach Art eines Differentialgetriebes möglich (Fig. 4).

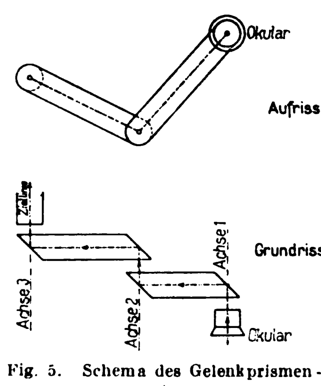


Fig. 5. Schema des Gelenkprismen-systems

Will man dem Betrachtungssystem außer der Einstellbarkeit der Ziellinie in beliebige Richtung noch die Freiheit geben, daß die Marke beliebig in einer Ebene normal zur Einblickrichtung bewegt werden kann, ohne daß der Beobachter diese Bewegungen mitmachen muß, so ist noch eine weitere Anordnung nötig (vgl. Fig. 5). Sie besteht aus einer Reihe von Gelenkprismen. Das Prinzip ihrer Anordnung ist dasselbe wie für das optische Kardangelenk: Die Lichtstrahlen werden durch Spiegelung stets in die Richtung der Gelenkachsen reflektiert und zwar so, daß die Ziellinie stets mit der mechanischen Gelenkachse zusammenfällt. Ein Unterschied besteht nur darin, daß alle Gelenkachsen untereinander und zum Anfang und Ende der Ziellinie parallel sind. Deshalb tritt bei dieser Anordnung das Stürzen der Bilder nur so auf, daß zum Schluß alle Verdrehungen sich gegenseitig aufheben.

c) Geometrische Grundlagen.

Durch ein optisches Zusatzsystem zum Kammerobjektiv, entsprechend dem vorhergehenden Abschnitt, ist es möglich, das Bild eines Punktes der Platte P' auf eine Marke P zu projizieren, die gegenüber dem Drehungspunkt des Zusatzsystems $H_{zus 2}$ im Kartenmaßstab dieselbe Lage hat wie der Neupunkt gegenüber dem Standpunkt Bringt man eine zweite Kammer in dieselbe Orientierung wie sie einer zweiten Aufnahme zugehört, und den Drehungspunkt des Zusatzsystems der zweiten Kammer in eine solche Lage, wie sie im Kartenmaßstab dem zweiten Standpunkt gegenüber dem ersten entspricht, so wird das zweite Zusatzsystem einen der Lage der Marke entsprechenden Punkt der zweiten Aufnahme auf die Marke P projizieren. Verschiebt man die Marke im Raum so gegen die beiden Drehungspunkte der Zusatzsysteme (Standpunkte im Kartenmaßstab), daß auf ihr die Bilder desselben Punktes abgebildet werden, so ist das aus Neupunkt (Marke) und den beiden Standpunkten bestehende Dreieck räumlich im Kartenmaßstab wiederhergestellt entsprechend dem ersten Abschnitt der „Grundlagen“. Dabei sind die Richtungen nach dem Neupunkt infolge der festen Orientierung der beiden Kammern auch fest orientiert.

Würde man die Abbildung der Marke auf die beiden Bildplatten beobachten, so wäre der Vorgang des Vorwärtseinschneidens bei orientierten Richtungen gegeben. Beobachtet man aber das Zusammenfallen der Abbildung der Bilder auf die Markenebene mit der Marke, so ist der Vorgang der, daß man den Standpunkt des Beobachters (die Marke) gegen zwei feste Richtungen rückwärts einschneidet. Um die Beobachtung tatsächlich ausführen zu können, müßte dieselbe Marke P zwei verschiedenen „Mikroskopen“ zugleich angehören und in der Schnittlinie zweier Markenebenen liegen, die zu den beiden Ziellinien der Mikroskope normal stehen. Dieses

ist **eine** Schwierigkeit. Die **andere** ist die, daß die beiden Kammern, bzw. die Drehpunkte der beiden Zusatzsysteme jeweils auf einen Abstand gleich der Basis im Kartenmaßstab im Raum eingestellt werden müßten. Da dieser Abstand bei kleinem Maßstab sehr klein sein wird, würde diese Forderung mechanisch ebenfalls zu Schwierigkeiten Anlaß geben. Nun hat die Firma Zeiss bereits bei der Konstruktion des ersten Stereoautographen ein Prinzip angewandt, das allen späteren Autographenkonstruktionen zugrunde liegt — auch dem Hugershoff-Heydeschen Autokartograph. Es ist das

Zeissische Parallelogramm.

Beim räumlichen Vor- oder Rückwärtseinschneiden nach orientierten Richtungen kommt es nicht darauf an, daß gerade das durch die beiden Standpunkte $A_0 B_0$ und den Neupunkt P gebildete Dreieck räumlich im Kartenmaßstab wiederhergestellt wird, sondern wesentlich ist, daß irgendwie die Strecken $A_0 P$ und $B_0 P$ in richtiger Größe und Orientierung erhalten werden. Dies ist in folgender Weise möglich (vgl. Fig. 6 und 7):

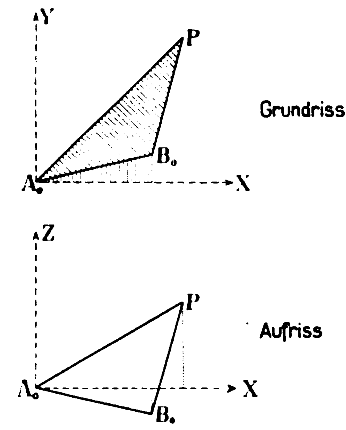


Fig. 6. Räumliches Einschneiden nach orientierten Richtungen.

In Fig. 6 oben ist $A_0 B_0 P$ der Grundriß des räumlichen Dreieckes. In Fig. 7 ist $ABPQ$ der Grundriß eines im Raum gelegenen Parallelogrammes. Dabei ist $AP \# A_0 P$ (parallel und gleich). Um auch $BQ_1 \# B_0 P$ zu erhalten, kann man in Fig. 6 durch A_0 ein rechtwinke-

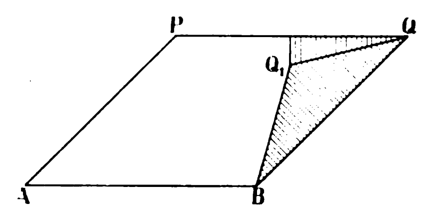


Fig. 7. Zeissisches Parallelogramm 1. Art.

liges Koordinatensystem so legen, daß eine Achse $// AB$ wird. Projiziert man B_0 auf dieses Koordinatensystem und verschiebt Q um den Betrag dieser Projektionen nach Q_1, so ist das Dreieck $Q Q_1 B$ kongruent mit dem Dreieck $A_0 B_0 P$ und infolgedessen $B Q_1 \# B_0 P$.

In der vorstehenden Form wurde das Zeissische Parallelogramm beim Stereoautograph wie auch beim Autokartograph verwendet. Dieselbe Wirkung läßt sich aber auch in anderer Weise erzielen. Es ist nicht nötig, daß derselbe Punkt des Parallelogrammes um die Beträge der Basisprojektionen verschoben wird, sondern man kann **einen** Punkt um die Projektion der Basis auf die eine Richtung, einen **zweiten** Punkt um die Projektion der Basis auf eine zweite Richtung und schließlich, da es sich um eine im Raume irgendwie liegende Basis handelt, einen **dritten** Punkt um die Projektion der Basis auf die dritte Richtung verschieben, die zu den beiden vorhergehenden normal steht. So kann z. B. entsprechend Fig. 8 A nach A_1, P nach P_1, und schließlich B in vertikaler Richtung nach B_1 verschoben

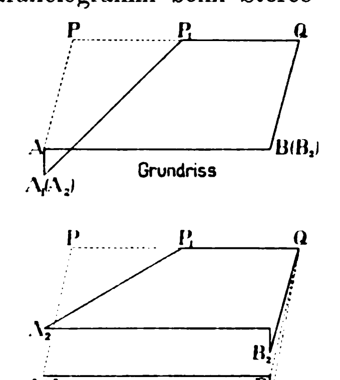


Fig. 8. Zeissisches Parallelogramm 2. Art.

werden. Verschiebt man noch A_1 und B_1 gemeinsam in vertikaler Richtung, bis der Höhenunterschied von $A_2 P_1$ gleich dem Höhenunterschied von $A_0 P$ (Fig. 6 unten), so ist erreicht, daß im Raume $A_2 P_1 \# A_0 P$ und $B_2 Q \# B_0 P$. Ändert P seine Lage gegenüber A_0 und B_0, so lassen sich die entsprechenden Änderungen dadurch einstellen, daß $P_1 Q$ durch einen gemeinsamen Träger verbunden werden, ebenso wie $A_2 B_2$, und daß diese beiden Systeme durch ein räumliches Kreuzschlittensystem gegeneinander bewegt werden. Die Relativbewegungen in diesem Kreuzschlittensystem sind von gleicher Größe wie die Koordinatenänderungen von P in bezug auf ein dem Kreuzschlittensystem gleich orientiertes Koordinatensystem.

Konstruktion.

a) Prinzip.

Entsprechend den im Abschnitt „Grundlagen" gemachten Ausführungen kann der Stereoplanigraph entweder als doppelter Perspektograph (Entzerrungsgerät) aufgefaßt werden, der dazu dient, aus zwei Zentralperspektiven die Orthogonalprojektion des Gebildes aufzuzeichnen oder als Doppelmikroskop zur Ausmessung zweier Bilder, wobei die Meßmarken solche Bewegungen gegenüber zwei Projektionszentren ausführen, daß ihre Lage gegen diese unmittelbar die Lage des angezielten Punktes im Raume darstellt, oder schließlich als Doppelfernrohr zur mechanischen Ausführung des räumlichen Rückwärtseinschnittes mittels bestimmt orientierter Richtungen gegen zwei feste Punkte, wobei die orientierten Richtungen durch zwei Kammern erzeugt werden. Auch bei dieser letzten Auffassung sind die Meßmarken der Fernrohre beweglich und stellen gegenüber den beiden gegebenen Punkten die Raumkoordinaten des rückwärts eingeschnittenen Neupunktes dar. Diese Raumkoordinaten können nach Belieben an Maßstäben abgelesen oder graphisch erhalten werden.

Wie man auch das Instrument auffaßt, so ergeben sich stets folgende Hauptbestandteile:

1. Die beiden Bildträger.
2. Die beiden Projektionssysteme (Projektionssysteme für das Entzerrungsgerät, Objektivsysteme für das Mikroskop, Richtungserzeugende Systeme verbunden mit den Fernrohrobjektiven).
3. Das Meßmarkensystem (sowohl für Entzerrung wie Mikroskop und Fernrohr).
4. Das Verbindungssystem von Nr. 2 und 3.
5. Das Betrachtungssystem (Betrachtungssystem für Entzerrung, Okularsystem für Mikroskop und Fernrohr).
6. Die Zeichenvorrichtung zur graphischen Auftragung der Raumkoordinaten eines Neupunktes.

1. Die Bildträger (vgl. Fig. 9 bis 13).

Die Bildträger A und B gestatten, die Platten gegenüber den zugehörigen Projektionszentren und gegen ein dreiachsiges Koordinatensystem genau so zu orientieren, wie im Augenblick der Aufnahme. Zu diesem Zweck sind die Platten auf einem auswechselbaren Rahmen befestigt. Je nach der Brennweite wird ein anderer Rahmen als Bildträger verwendet, so daß die Plattenebene vom Projektionszentrum einen Abstand gleich der Brennweite des Aufnahmeapparates hat. Der Rahmen selbst trägt Markenpaare, deren Verbindungslinien sich im Bildhauptpunkt schneiden. Durch Verschieben der Platten mittels Justierschrauben werden die bei der Aufnahme mitphotographierten Rahmenmarken der Aufnahmekammer mit den Marken des Platten-

trägers zur Deckung gebracht. Damit wird die **innere Orientierung** der Bildplatten gegenüber dem Projektionszentrum wiederhergestellt. Zur Wiederherstellung der äußeren Orientierung ist der Bildträger um drei verschiedene Achsen drehbar:

a) die Kammernachse, d. h. das Bild in seiner eigenen Ebene um den Hauptpunkt — zur Einstellung der Verkantung (Z. 8),

b) um eine in der Nähe des Projektionszentrums gelegene horizontale Achse zur Einstellung der Neigung der Kammernachse (Z. 9),

c) um eine in der Nähe des Projektionszentrums gelegene vertikale Achse zur Einstellung der Aufnahmerichtung (Z. 7).

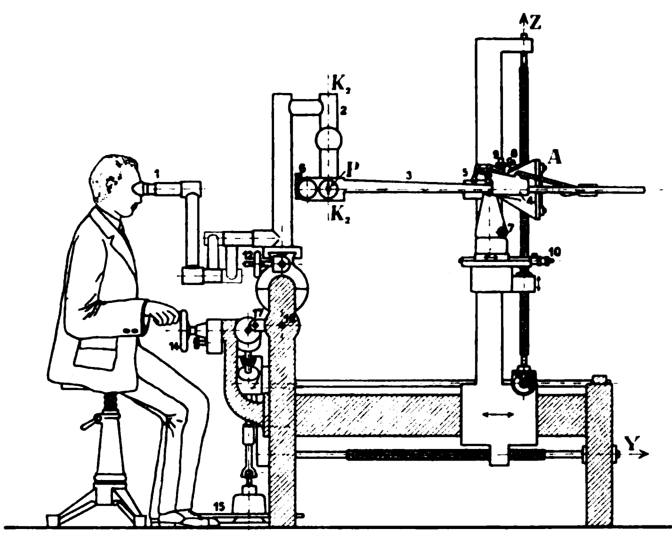


Fig. 9. Seitenansicht.
1 Betrachtungssystem, $K_2 K_2$ Kardanachse, 2 Markenträger, P Meßmarke, 3 Lenker 4 Lenkerführungsstück, 5 Zusatzsystem mit Einstellung, 6 Einstellung des Doveprismas, A Bildträger, 7 Einstellung der Verschwenkung, 8 Einstellung der Verkantung, 9 Einstellung der Neigung, 10 Einstellung der Verschiebung $A A_1$. 12 Einstellung der Verschiebung $P P_1$. 14 Y- oder Z-Kurbel. 15 Fußscheibe für Y oder Z. 16 Übertragung X. 17 Übertragung Y oder Z.

2. **Die Projektionssysteme** (vgl. auch Fig. 2).

Jedes Projektionssystem besteht aus zwei Teilen, die miteinander durch ein Kardangelenk mechanisch zusammenhängen. Der eine Teil ist ein Objektiv von gleicher Brennweite wie das der Aufnahmekammer. Dieses Objektiv ist mit dem Bildträger so verbunden, daß seine optische Achse stets durch den Hauptpunkt des Bildträgers geht und sein dem Bildträger zugewandter Hauptpunkt H_{01} für das Bild Projektionszentrum ist. Dieses Objektiv stellt also zusammen mit dem Bildträger eine Kammer dar von gleicher innerer und äußerer Orientierung wie die Aufnahmekammer. Der Schnittpunkt der Kardanachsen des Bildträgers wird zweckmäßigerweise ungefähr in den dem Bildträger abgewandten Hauptpunkt des Objektives H_{02} verlegt.

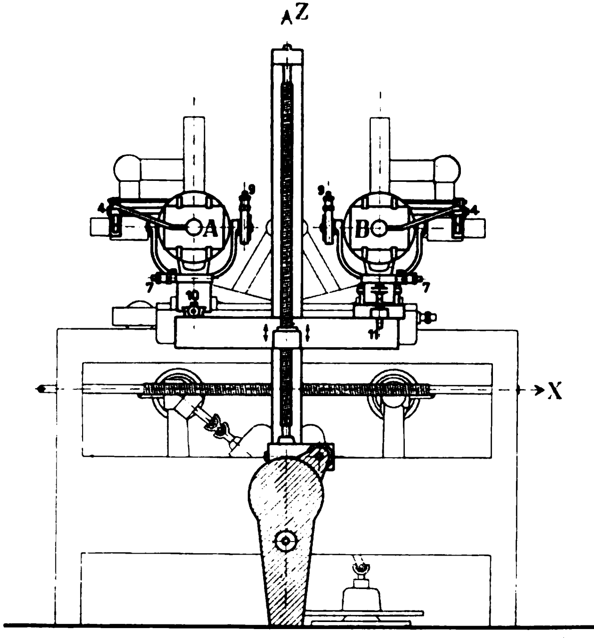


Fig. 10. Hinteransicht.
A und B Bildträger, 4 Lenkerführungsstücke, 7 Einstellung der Verschwenkung, 9 Einstellung der Neigung, 10 Einstellung der Verschiebung $A A_1$. 11 Einstellung der Verschiebung $B B_1$.

Werden Aufnahmen von verschiedenen Aufnahmekammern verwendet, so müssen

entsprechende Objektive eingesetzt werden. Das Objektiv ist also auswechselbar. Außerdem besteht die Möglichkeit, kleine Unterschiede zwischen dem durch die geometrischen Verhältnisse verlangten Abstand des Projektionszentrums vom Bild und der Brennweite des vorhandenen Objektives durch eine kleine Verstellung am Zusatzsystem auszugleichen.

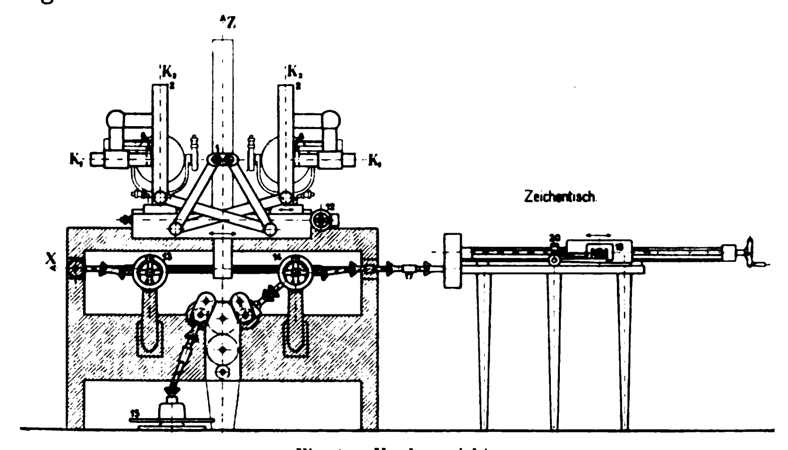


Fig. 11. Vorderansicht.
$K_1 K_2$ Kardanachsen, 1 Betrachtungssystem, 2 Markenträger, 6 Einstellung des Doveprismas, 12 Einstellung der Verschiebung $P P_1$, 13 X-Kurbel, 14 Y- oder Z-Kurbel, 15 Fußscheibe für Y oder X, 19 Verschiebbarer Arm, 20 Zeichenstift.

Der zweite Teil des Projektionssystems ist das Zusatzsystem oder „Fernrohrobjektiv" mit variabler Brennweite (Z. 5). Es hat die vom Kammerobjektiv kommenden parallelen Strahlen so zu brechen, daß sie eine scharfe Abbildung auf der Markenebene geben.

Das Zusatzsystem ist ein Teleobjektiv und besteht aus einer Sammellinse und einer Zerstreuungslinse von je gleicher Dioptrienzahl. Die Sammellinse liegt dem Kammerobjektiv zunächst. Sie ist verschiebbar gegen die Zerstreuungslinse. Die Verschiebungsrichtung muß exakt mit der optischen Achse des Zusatzsystemes zusammenfallen. Der rückwärtige Brennpunkt der Zerstreuungslinse F_{z2} ist gleichzeitig rückwärtig Hauptpunkt des Zusatzsystemes H_{zus2}. Er ändert seine Lage zur Zerstreuungslinse bei Bewegungen der Sammellinse nicht und liegt vor dem System, d. h. dem Kammerobjektiv zugekehrt. Dieser Hauptpunkt ist genau Schnittpunkt zweier Kardanachsen, um die das Zusatzsystem drehbar ist. Der Schnittpunkt dieser beiden Kardanachsen muß auch ungefähr mit dem Schnittpunkt der Kardanachsen des Bildträgers zusammenfallen und wie dieser ungefähr in der Nähe des dem Zusatzsystem zugekehrten Hauptpunktes des Kammerobjektives H_{02} liegen. Der Kardanschnittpunkt des Zusatzsystemes stellt zugleich den Standpunkt der Aufnahme vor.

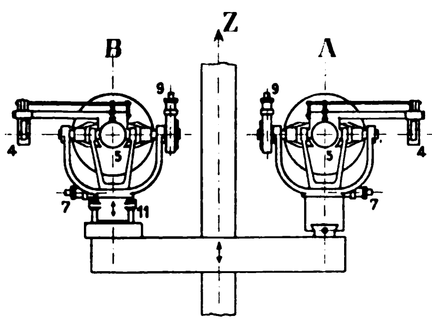


Fig. 12. Bildträger mit Zusatzsystemen. Vorderansicht.
4 Lenkerführungsstück, 5 Zusatzsystem mit Einstellung, 7 Einstellung der Verschwenkung, 9 Einstellung der Neigung, 11 Einstellung der Verschiebung $B B_1$.

Der Abstand von Sammel- und Zerstreuungslinse ist umgekehrt proportional dem Abstand von Aufnahmestandpunkt und Meßmarke. Er wird geregelt durch ein Hebelsystem (Z. 5), das seine Einstellung von einem keilförmigen Lenker (Z. 3) erhält.

Der Lenker hat die Aufgaben: a) das Zusatzsystem so zu orientieren, daß seine optische Achse ungefähr nach der Meßmarke (P bzw. Q) gerichtet ist, b) die Meßmarke P bzw. Q so zu orientieren, daß ihre Ebene ungefähr normal zu Ziellinie nach dem Standpunkt steht, c) die Brennweite des Zusatzsystemes zu regeln. Zu diesem Zweck ist der Lenker mit dem die Meßmarke tragenden Glied des optischen Kadangelenkes fest verbunden und gleitet durch ein am Zusatzsystem befestigtes Führungsstück (Z. 4), wobei er gleichzeitig infolge seiner Keilform ein Hebelchen zur Verschiebung der Sammellinse betätigt. Mit dem Führungsstück (Z. 4) steht die Lichtquelle in Verbindung, die dadurch stets genau hinter denjenigen Punkt gehalten wird, der auf der Markenebene zur Abbildung gelangt.

3. Das Meßmarkensystem (vgl. auch Fig. 4).

Das Meßmarkensystem besteht aus zwei Marken (P und Q), deren jede sich im Schnittpunkt zweier Kardanachsen K_1 und K_2 befindet. Das die Meßmarke tragende Glied des Kardangelenkes trägt außerdem den bereits beschriebenen Lenker. Jede Meßmarke ist auf der Vorderseite einer Kollektivlinse angebracht, die zum Betrachtungssystem gehört. Die Meßmarken samt ihren Kardangelenken sind auf zwei besonderen Markenträgern (Z. 2) befestigt. Diese sind sowohl gegen einander wie gemeinsam verschiebbar. Sie bilden einen Teil des Verbindungssystemes.

4. Das Verbindungssystem.

Aufgabe des Verbindungssystems ist es, den vier das Zeissische Parallelogramm bildenden Punkten solche Bewegungsmöglichkeiten zu geben, daß die eingestellten Richtungen und Entfernungen denen von zwei Standpunkten nach einem Neupunkt entsprechen und die Koordinaten des Neupunktes unmittelbar abgelesen oder mechanisch abgenommen werden können.

Die vier Punkte, um die es sich handelt, sind:

A Drehungspunkt des zum (im Sinne der Aufnahmerichtung) linken Bildträger gehörigen Zusatzsystemes,

B Drehungspunkt für das (im Sinne der Aufnahme) rechte Zusatzsystem,

P Meßmarke vor dem Punkte A,

Q Meßmarke vor dem Punkte B.

Diese vier Punkte entsprechen den gleichnamigen Punkten der Fig. 8. Dementsprechend besteht die Grundkonstruktion für das Verbindungssystem aus einem räumlichen Kreuzschlitten mit normal auf einander stehenden Bewegungsrichtungen. Eine erste Koordinatenachse, X-Achse, ist entsprechend der Richtung von AB oder PQ horizontal gelegt. Die Y-Achse steht dazu normal, ist aber ebenfalls horizontal. Die dritte, die Z-Achse, steht lotrecht. Die Bewegungen des Kreuzschlittens sind so verteilt, daß die beiden Meßmarkenträger als gemeinsames System in der X-Richtung bewegt werden können, die beiden Bildträger mit den Punkten A und B als gemeinsames System auf einem Kreuzschlitten sitzen, wovon der untere Schlitten eine Bewegung in der Y-Richtung, der obere eine in der Z-Richtung ausführt.

Durch dieses Kreuzschlittensystem ist zunächst die Einstellung eines Parallelogrammes ermöglicht. Um die richtigen geometrischen Bedingungen für den Rückwärtseinschnitt zu schaffen, müssen aber die den Punkten $ABPQ$ entsprechenden Teile noch gegen einander besonders verschiebbar sein. Dies ist im Sinne der letzten Ausführung der „geometrischen Grundlagen“ der Fall: Außer der Drehungsmöglichkeit zur richtigen Orientierung der Kammerachse (Z. 7, Z. 8, Z. 9) ist der zu A

gehörige Bildträger in der Richtung Y verschiebbar (Z. 10). Er wird um den Betrag $b \cdot \cos\vartheta \sin\varphi$ verschoben, wenn ϑ die Neigung der Basis, φ den Verschwenkungswinkel der Basis gegen die X-Achse und b die tatsächliche Länge der Basis im Kartenmaßstab bedeutet (schräg gemessen). Dagegen ist der zu B gehörige Bildträger, abgesehen von den Drehungsmöglichkeiten, in der Z-Zichtung verschiebbar (Z. 11). Er wird um den Höhenunterschied der beiden Standpunkte oder um $b \cdot \sin\varphi$ verstellt. Schließlich wird der zu P gehörige Markenträger in der X-Richtung gegen Q um den Betrag $b \cdot \cos\vartheta \cos\varphi$ verschoben (Z. 12). Für besondere Fälle ist außer P auch noch Q auf dem P und Q gemeinsamen Schlitten in Richtung auf P verschiebbar angeordnet. Die so verschobenen Markenträger bilden ein während der übrigen Messungen nicht weiter gegen einander veränderliches System. Sie nehmen in der justierten Stellung gemeinsam an allen X-Bewegungen teil, die zur Einstellung der Marken auf andere Bildpunkte erforderlich sind. Das Gleiche gilt für die einmal für eine bestimmte Basis justierten und orientierten Bildträger. Ihre gegenseitige Stellung ändert sich während der Ausmessung des betreffenden Bildpaares nicht mehr, wohl aber erleiden sie gemeinsam Verschiebungen in der Y- und Z-Richtung bei Einstellung der Meßmarke auf andere Punkte. Diese Verschiebungen, die zur Einstellung anderer Punkte erforderlich sind, geben die Koordinaten der verschiedenen Punkte. Sie können entweder an Meßwerken, welche an jeder der die Verschiebung betätigenden Spindeln angebracht sind, abgelesen oder mechanisch auf die Zeichenvorrichtung übertragen werden.

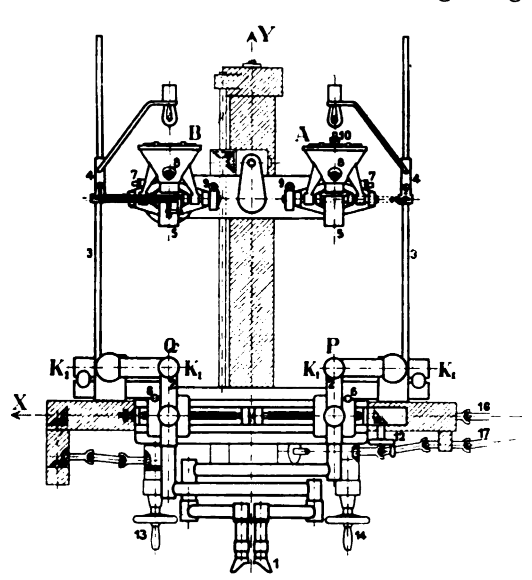


Fig. 13. Draufsicht.
A und B Bildträger, P und Q Meßmarken, K_1 K_2 Kardanachsen, 1 Betrachtungssystem, 2 Markenträger, 3 Lenker, 4 Lenkerführungsstück, 5 Zusatzsystem, 6 Einstellung des Doveprismas, 7 Einstellung der Verschwenkung, 8 Einstellung der Verkantung, 9 Einstellung der Neigung, 10 Einstellung der Verschiebung AA_1, 12 Einstellung der Verschiebung PP_1, 13 X-Kurbel, 14 Y- oder Z-Kurbel, 16 Übertragung X, 17 Übertragung Y oder Z.

Der Antrieb für je zwei der Spindeln zur Einstellung der Punktkoordinaten erfolgt mit der Hand (Z. 13, Z. 14), der Antrieb der dritten Spindel mit dem Fuß (Z. 15). Welche Spindeln mit der Hand und welche mit dem Fuß angetrieben werden sollen, steht bei dem Beobachter. Er kann die Kuppelungen zwischen Y und Z beliebig umlegen. Die Wahl richtet sich danach, welche von den drei Koordinaten graphisch dargestellt werden sollen. Die zugehörigen Spindeln werden dann mit der Hand anzutreiben sein.

5. Betrachtungssystem.

Das Betrachtungssystem (Z. 1) hat die Aufgabe, dem Beobachter die Beobachtung von den auf die Markenebenen projizierten Bildern gleichzeitig mit den Marken zu gestatten. Es ist binokular gebaut und zeigt dem Beobachter die Landschaft ungefähr so, wie sie durch eine stereoskopische Betrachtung der beiden in den verschiedenen Standpunkten aufgenommenen Bilder erscheint. Ein Unterschied besteht nur darin, daß infolge der Eigenart des Projektionssystems die Bildvergrößerung

wechselt, je nachdem Punkte des Hintergrundes oder des Vordergrundes eingestellt sind. Gleich große Objekte erscheinen infolgedessen stets gleich groß, ob sie dem Standpunkt nahe oder fern sind. Damit der Anblick der Landschaft aber ungefähr dem Anblick im Stereoskop entspricht, muß dem linken Auge das im Sinne der Aufnahmerichtung linke Bild und dem rechten Auge das rechte Bild erscheinen. Nun erfolgt die Beobachtung vom Neupunkt aus. Infolgedessen liegt für den Beobachter, der in entgegengesetzter Richtung sieht wie die Kammer, der linke Aufnahmestandpunkt rechts, und umgekehrt. Das Betrachtungssystem muß also die vom Beobachter linke Marke der Betrachtung durch das rechte Auge zugänglich machen und umgekehrt. Außerdem ändern die beiden Markenebenen bei Einstellung verschiedener Punkte stets ihre Richtungen, und damit ändern sich auch die Richtungen der Ziellinien. Diese müssen in eine feste Richtung übergeführt werden. Dies geschieht durch je ein optisches Kardangelenk ($K_1 K_2$) für jede Meßmarke wie unter „optische Grundlagen" beschrieben. Durch die optischen Kardangelenke werden die Ziellinien in vertikale Richtung überführt und nachträglich noch in die Y-Richtung. Da aber die Markenträger (Z. 2) samt den optischen Kardangelenken sowohl gegeneinander als auch gemeinsam in der X-Richtung beweglich sind, schließt sich an jeden Markenträger noch ein Gelenkprismensystem (Z. 1), dessen sämtliche Achsen parallel zur Y-Richtung sind, und das gestattet die Beobachtung ohne Bewegung des Kopfes durchzuführen. Außerdem nimmt es die notwendige Vertauschung von rechts und links vor.

Jedes Betrachtungssystem enthält zur Bildaufrichtung ein Dovesches Prisma. Die Einstellung dieser Prismen kann durch eine besondere Schraube (Z. 6) auch willkürlich so geändert werden, daß man in der Lage ist, in besonderen Fällen die Bilder willkürlich um bestimmte Beträge zu stürzen.

6. Die Zeichenvorrichtung.

Die Zeichenvorrichtung besteht aus einem Koordinatograph. Längs eines in einer Richtung verschiebbaren Armes (Z. 19) ist ein Zeichenstift (Z. 20) normal zur Verschiebungsrichtung des Armes selbst wieder beweglich. Durch beide Bewegungen ist man in der Lage, den Zeichenstift entsprechend rechtwinkligen Koordinaten einzustellen. Die beiden Bewegungen des Stiftes erfolgen durch Spindeln. Die am beweglichen Arm befestigte Spindel erhält ihrerseits den Antrieb durch Kegelräder, deren eines von einer Leitwelle (Z. 18) betätigt wird. Beide Bewegungen sind mit Meßwerken versehen, sodaß die Einstellungen des Stiftes auch gemessen werden können. Die Bewegungen der beiden Spindeln können durch Zwischenstücke mit den Bewegungen der Spindeln des Planigraphen gekuppelt werden. Dabei besteht die Möglichkeit, Wechselgetriebe einzuschalten, so daß die vom Stereoplanigraph abgenommenen Bewegungen durch die Zeichenvorrichtung vergrößert oder verkleinert aufgetragen werden können. Insbesondere besteht auch die Möglichkeit, die beiden Bewegungen in verschiedenem

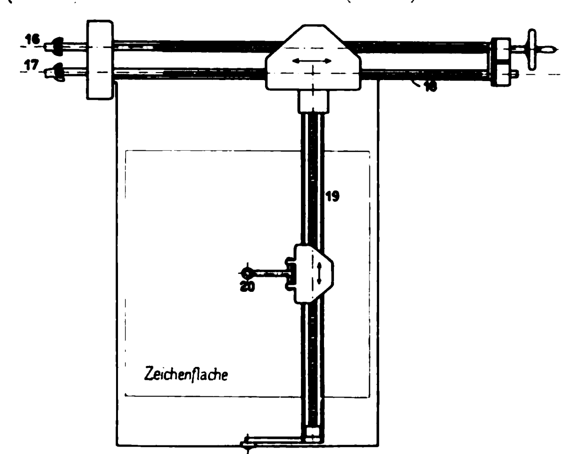


Fig. 14. Zeichentisch.
16 Übertragung X, 17 Übertragung Y oder Z, 18 Leitwelle. 19 Verschiebbarer Arm, 20 Zeichenstift.

Verhältnis auftragen zu lassen, z. B. Querprofile mit Überhöhung der Höhen. Die verfügbaren Übersetzungen sind: 1:1, 1:2, 1:3, 1:5, sowie deren reziproke. Spindel und Leitwelle laufen durch und tragen an ihren Euden wieder Übertragungsstücke, so daß an den einen Zeichentisch noch beliebige weitere angeschlossen werden können, die eine gleichzeitige Ausarbeitung in anderen Maßstäben gestatten.

Arbeitsmöglichkeiten.

Die Arbeitsmöglichkeiten sind bedingt durch die größten und kleinsten am Planigraph einstellbaren Entfernungen und Winkel. Geht man von einer Stellung aus. bei der die verschiedenen Projektionen der Basis Null, die Kammerachsen nach der *Y*-Richtung ausgerichtet und die Marken auf die Hauptpunkte der Bilder eingestellt sind (Grundstellung), so betragen die Verschiebungsmöglichkeiten am Planigraph:

in der *X*-Richtung rechts und links je 37,5 cm (Z. 13),
in der *Y*-Richtung Entfernungen von den Marken zu den Standpunkten 9—60 cm (Z. 14 od. Z. 15),
in der *Z*-Richtung 32 cm nach unten und 63 cm nach oben (Z. 14 od. 15).

Basisprojektionen sind einstellbar:

in der *X*-Richtung durch Verschieben eines Markenträgers 17,5 cm (Z. 12), durch Verschieben beider Markenträger 35 cm,
in der *Y*-Richtung durch Verschieben des *A*-Bildträgers je 5,5 cm vor und zurück (Z. 10),
in der *Z*-Richtung durch Verschieben des *B*-Bildträgers je 3 cm auf und ab (Z. 11).

Bildträger können gedreht werden:

um die Kammerachsen je 360° (Z. 8),
um die Horizontalachsen für Neigung der Kammerachsen nach oben bis 25° (Z. 9), nach unten bis 60°,
um die Horizontalachsen für Neigung der Kammerachsen,
um die Vertikalachsen nach rechts und links je 30° (Z. 7).

Aus diesen Angaben folgt, daß zunächst, wenn man die *X*- und *Y*-Richtung als wagrechte Richtungen nimmt, die Kammern keine größere Neigung als + 25° und — 60° haben dürfen. Diese Einschränkung ist jedoch sofort dadurch hinfällig, daß man die *Y*-Richtung als Lotrichtung und die *X*- und *Z*-Richtungen als wagrecht nimmt oder auch, bzw. gleichzeitig, von der Verdrehungsmöglichkeit durch das Dovesche Prisma Gebrauch macht. Bei dieser Orientierung folgt, daß die Aufnahmerichtungen gegen das Lot bis zu 60° Nadir- bzw. Zenitdistanz haben dürfen. Das bedeutet aber, daß tatsächlich alle Neigungswinkel der Kammerachsen zulässig sind.

Die kürzeste und weiteste Entfernung der Marken von den Standpunkten bedingen auch die entsprechenden Minimal- und Maximalentfernungen, auf die in einem bestimmten Kartenmaßstab noch ausgearbeitet werden kann. Sie sind z. B. für den Maßstab 1:1000 bei einem Verhältnis der Übertragung vom Planigraph zum Zeichentisch 1:1 von 90 bis 600 m. Stellt man dagegen am Planigraph die Basisprojektionen im Maßstab 1:5000 ein und die Übertragung auf 5:1, so lassen sich in 1:1000 Entfernungen zwischen 450 und 3000 m ausarbeiten. Stellt man umgekehrt am Planigraph die Basisprojektionen in 1:200 ein und die Übertragung auf 1:5, so sind die in 1:1000 ausarbeitbaren Entfernungen zwischen 18 und 150 m gelegen. Für andere Maßstäbe gilt das Gleiche im entsprechenden Verhältnis.

Über Justierung und Arbeitsmethoden wird gesondert berichtet werden.

Der Halbschattenkompensator Braces.

Von

Nina Wedeneewa in Moskau.

(Mitteilung aus dem Physikalischen Institut der Frauen-Hochschule in Moskau.)

1. Die veränderliche Empfindlichkeit des Apparates.

H. Szivessy[1]) hat eine Neukonstruktion des Braceschen Halbschattenkompensators angegeben, indem er das Glimmerblättchen (Halbschattenplatte) durch einen schwach gepreßten Glasstreifen ersetzt. Diese Anordnung erlaubt den Halbschatten nach Belieben zu verändern, doch, meine ich, leidet darunter die Empfindlichkeit des Apparates, weil die Trennungslinie beider Hälften des Gesichtsfeldes, wegen der größeren Dicke der Halbschattenplatte, nicht so gut zum Verschwinden gebracht werden kann, wie bei der älteren Konstruktion.

Man bedarf aber keiner besonderen technischen Hilfsmittel, um den Halbschatten den Bedingungen des Versuches anzupassen, denn der elliptische Polarisator, wie ihn Brace ersonnen hat, ist schon ein Apparat mit veränderlichen Halbschatten, welcher dem Lippichschen Polarisator ganz analog ist. Auf diese bisher noch nicht bemerkte Eigenschaft der Braceschen Methode möchte ich hier aufmerksam machen.

Wir setzen die Phasendifferenz Δ_1 in der Halbschattenplatte als klein voraus.

Die bekannte Formel für die Intensität des durch zwei Platten von Phasendifferenz Δ_1 und Δ_2 durchgehenden Lichtes lautet:

$$J = 1 \cdot \Big[\cos^2\varphi + \cos 2(\gamma - \varphi)\sin 2\beta \sin 2(\gamma - \beta)\sin^2\frac{\Delta_1}{2} - \sin 2(\gamma - \varphi)\cos 2\beta \sin 2(\gamma - \beta)\sin^2\frac{\Delta_2}{2} - \sin 2(\gamma - \varphi)\sin 2\beta\cos^2(\gamma - \beta)\sin^2\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} + \sin 2(\gamma - \varphi)\sin 2\beta\sin^2(\gamma - \beta)\sin^2\frac{\Delta_1 - \Delta_2}{2}\Big], \qquad 1)$$

worin φ, β und γ die Azimute des Analysators, bzw. der ersten und der zweiten Platte bedeuten.

Die Differenz $J_1 - J_2$ der Intensitäten, welche die zwei auf verschiedenem Wege den Apparat durchsetzenden Lichtbündel besitzen, kann dann geschrieben werden:

$$J_1 - J_2 = A\cos 2(\gamma - \varphi)\sin 2\beta\sin 2(\gamma - \beta) - B\sin 2(\gamma - \varphi)\sin 2\beta\cos^2(\gamma - \beta) + C\sin 2(\gamma - \varphi)\sin 2\beta\sin^2(\gamma - \beta). \qquad 2)$$

Es ist hier, wenn man mit δ die Phasendifferenz in dem zu untersuchenden Medium bezeichnet,

$$A = \sin^2\frac{\Delta_1 + \delta}{2} - \sin\frac{\delta}{2} = \sin\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta\right)\sin\frac{\Delta_1}{2},$$
$$B = \sin^2\frac{\Delta_1 + \delta + \Delta_2}{2} - \sin^2\frac{\delta + \Delta_2}{2} = \sin\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta + \Delta_2\right)\sin\frac{\Delta_1}{2}$$
$$C = \sin^2\frac{\Delta_1 + \delta - \Delta_2}{2} - \sin^2\frac{\delta - \Delta_2}{2} = \sin\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta - \Delta_2\right)\sin\frac{\Delta_1}{2}.$$

[1]) *Zeitschr. f. Physik* **6**. *S. 311. 1921.* Referat in *dieser Zeitschr.* **42**. *S. 183. 1922.*

Setzt man $\varphi = 90^0$ und $\beta = 45^0$, so hat man

$$J_1 - J_2 = \left[-A + \frac{B+C}{2} \right] \sin^2 2\gamma + \frac{B-C}{2} \sin 2\gamma + A.$$

Für die Einstellung auf gleiche Helligkeit gilt dann die Gleichung

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta\right)\left(1 - 2\sin^2 2\gamma \sin^2 \frac{\Delta_2}{2}\right) + \sin 2\gamma \sin \Delta_2 = 0,$$

oder

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta\right) = -\frac{\sin 2\gamma \sin \Delta_2}{1 - 2\sin^2 2\gamma \sin^2 \frac{\Delta_2}{2}}. \qquad 3)$$

Es gibt zwei Stellungen γ' und $\gamma'' = 90^0 - \gamma'$ des Kompensators, welche der Bedingung gleicher Helligkeit der Gesichtsfelder genügen.

Die üblich gewordene Orientierung der Halbschattenplatte bei 45^0 Azimut ist ein Spezialfall. Im allgemeinen können beliebige Azimute benutzt werden, und dadurch fällt die Berechnung von δ nicht verwickelter aus, es tritt nur an der Stelle von Δ_1 in Gl. 3) die Größe $\Delta' = \Delta_1 \sin 2\beta$, welche wir als „scheinbare" Phasendifferenz in der Halbschattenplatte bezeichnen wollen. Dreht man die letztere, so wirkt dies wie eine Änderung der von ihr verursachten Phasendifferenz bei unverändertem Azimut und dadurch wird der Empfindlichkeit des Apparates eine erwünschte Größe gegeben.

Wie nehmen das Azimut der Halbschattenplatte $\beta \neq 45^0$ an, das doppeltbrechende Medium sei dagegen bei 45^0 Azimut eingesetzt.

Geht, wie im vorliegenden Falle, ein geradlinig polarisierter Strahl durch eine Platte von kleiner Phasendifferenz, so entsteht eine Schwingungsellipse, deren große Achse einen sehr kleinen Winkel mit den ursprünglichen Schwingungen bildet.

Ist α dieser Winkel, so haben wir

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{(1 - \cos \Delta_1) \operatorname{tg} 2\beta}{1 + \operatorname{tg}^2 2\beta \cos \Delta_1},$$

oder wegen der Kleinheit von Δ_1

$$\alpha = \frac{\Delta_1^2}{8} \sin 4\beta.$$

Das Achsenverhältnis b/a der Ellipse kann geschrieben werden:

$$\frac{b}{a} = \frac{\Delta_1 \sin 2\beta}{2} = \frac{\Delta'}{2}.$$

Projiziert man die Schwingungen längs der Achsen der Ellipse auf die Schwingungsrichtungen in dem zu untersuchenden Medium, so ist

$$A' \sin(nt + \omega') = \sin\left(\frac{\pi}{4} + \alpha\right) \sin nt + \frac{\Delta'}{2} \cos\left(\frac{\pi}{4} + \alpha\right) \cos nt$$

$$A'' \sin(nt + \omega'') = \cos\left(\frac{\pi}{4} + \alpha\right) \sin nt - \frac{\Delta'}{2} \sin\left(\frac{\pi}{4} + \alpha\right) \cos nt.$$

Bis auf Größen höherer Ordnung

$$\operatorname{tg} \omega' = \frac{\Delta'}{2} \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{4} + \alpha\right) = \frac{\Delta'}{2}(1 - 2\alpha),$$

$$\operatorname{tg} \omega'' = -\frac{\Delta'}{2} \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \alpha\right) = -\frac{\Delta'}{2}(1 + 2\alpha).$$

also

$$\operatorname{tg}\omega' - \operatorname{tg}\omega'' = \omega' - \omega'' = \Delta',$$

und

$$A'^2 = {}^1/_2 + \alpha + \frac{{\Delta_1}^2}{8},$$

$$A''^2 = {}^1/_2 - \alpha + \frac{\Delta'^2}{8},$$

daher

$$\frac{A'}{A''} = \sqrt{\frac{1 + 2\alpha + \frac{\Delta'^2}{4}}{1 - 2\alpha + \frac{\Delta'^2}{4}}} = 1 + 2\alpha.$$

Stellen wir uns vor, es sei der Kompensator auf gleiche Helligkeit eingestellt, sodann die Halbschattenplatte entfernt und eine andere von der Phasendifferenz $\Delta' = \Delta_1 \sin 2\beta$ bei 45^0 Azimut eingesetzt. Dreht man jetzt die Polarisationsebene des durch die Halbschattenplatte dringenden Lichtes um den Winkel α, so bleibt die Einstellung auf gleiche Helligkeit bestehen, denn die zwei aus dem doppeltbrechenden Medium austretenden Strahlen behalten wie vorher das Amplitudenverhältnis $\frac{A'}{A''} = \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{4} - \alpha\right) = 1 + 2\alpha$ und die Phasendifferenz $\Delta' + \delta$.

Die Gleichungen für „*match*" sind also in beiden Fällen durch denselben Wert von γ befriedigt.

Es bezeichne jetzt γ^* denjenigen Wert des „*match*"-Azimuts, welcher zu dem Fall einer bei 45^0 Azimut eingesetzten Halbschattenplatte von der Phasendifferenz Δ' gehört. Drehen wir, wie oben gesagt, die Polarisationsebene des durch die Halbschattenplatte gehenden Lichtes, so lautet die Gleichung für „*match*":

$$\begin{aligned}
&\cos^2\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right)+\cos 2\left[(\gamma^*+\Delta\gamma-\alpha)-\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)\right]\sin 2\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)\sin 2\left[(\gamma^*+\Delta\gamma-\alpha)-\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)\right]\sin^2\frac{\Delta'+\delta}{2}\\
&\quad-\sin 2\left[(\gamma^*+\Delta\gamma-\alpha)-\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)\right]\cos 2\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)\sin 2\left[(\gamma^*+\Delta\gamma-\alpha)-\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)\right]\sin^2\frac{\Delta_2}{2}\\
&\quad-\sin 2\left[(\gamma^*+\Delta\gamma-\alpha)-\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)\right]\sin 2\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)\cos^2\left[(\gamma^*+\Delta\gamma-\alpha)-\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)\right]\sin^2\frac{\Delta'+\delta+\Delta_2}{2}\\
&\quad+\sin 2\left[(\gamma\ +\Delta\gamma-\alpha)-\left(\frac{\pi}{2}-\alpha\right)\right]\sin 2\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)\sin^2\left[(\gamma^*+\Delta\gamma-\alpha)-\left(\frac{\pi}{4}-\alpha\right)\right]\sin^2\frac{\Delta'+\delta-\Delta_2}{2}\\
&\quad=\cos 2\left(\gamma^*+\Delta\gamma-\frac{\pi}{2}\right)\sin 2\left(\gamma^*+\Delta\gamma-\frac{\pi}{4}\right)\sin^2\frac{\delta}{2}\\
&\quad-\sin 2\left(\gamma^*+\Delta\gamma-\frac{\pi}{4}\right)\cos^2\left(\gamma^*+\Delta\gamma-\frac{\pi}{4}\right)\sin^2\frac{\delta+\Delta_2}{2}\\
&\quad+\sin 2\left(\gamma^*+\Delta\gamma-\frac{\pi}{4}\right)\sin^2\left(\gamma^*+\Delta\gamma-\frac{\pi}{4}\right)\sin^2\frac{\delta-\Delta_2}{2}.
\end{aligned}$$

Nimmt man von vornherein alle Faktoren, deren Differentialquotienten höherer Ordnung sind, als konstant an, so findet man $\Delta\gamma$, indem man folgende Gleichung:

$$\cos^2 2\gamma \sin^2\frac{\Delta'+\delta}{2} - \sin 2\gamma \cos 2\beta \cos 2\gamma \sin^2\frac{\Delta_2}{2} + \frac{1}{2}\sin 2\gamma(1+\sin 2\gamma)\sin^2\frac{\Delta'+\delta+\Delta_2}{2}$$
$$-\frac{1}{2}\sin 2\gamma(1-\sin 2\gamma)\sin^2\frac{\Delta'+\delta-\Delta_2}{2} = \cos^2 2\gamma \sin^2\delta/2$$
$$+\frac{1}{2}\sin 2\gamma(1+\sin 2\gamma)\sin^2\frac{\delta+\Delta_2}{2} - \frac{1}{2}\sin 2\gamma(1-\sin 2\gamma)\sin^2\frac{\delta-\Delta_2}{2}$$

nach β und γ differenziert und dann $d\gamma = \Delta\gamma$, $d\beta = -\alpha$, und $\gamma = \gamma^*$ einsetzt.

Dies ergibt

$$\Delta\gamma = \frac{2\sin 2\gamma^* \sin^2\frac{\Delta_2}{2}}{B'-C'-2(2A'-B'-C'\sin 2\gamma}\cdot\alpha.$$

Man erhält A', B' und C', indem man in den Ausdrücken für A, B und C Δ' statt Δ_1 schreibt.

Es ist $2A'-B'-C'$ klein gegen $B'-C'$ und

$$B'-C' = 2\sin\frac{\Delta'}{2}\left(\cos\frac{\Delta'}{2}+\delta\right)\sin\Delta_2,$$

also

$$\Delta\gamma = \frac{\sin 2\gamma^*\cdot \operatorname{tg}\frac{\Delta_2}{2}}{2\cos\left(\frac{\Delta'}{2}+\delta\right)\sin\frac{\Delta'}{2}}\cdot\alpha \qquad 4)$$

Da $\sin 2\gamma'^* = 2\gamma''^*$, so ist auch $\Delta\gamma = \Delta\gamma''$ 5)

Gehen wir zu dem Fall über, daß $\beta \neq 45^0$ und die Phasendifferenz in der Halbschattenplatte Δ_1 ist, so bleibt, da des Wert der „*match*“-Azimutes sich nicht verändert, Gl. 4) bestehen, nur tritt $\Delta_1 \sin 2\beta$ an die Stelle von Δ'. Ermittelt man in solchem Falle aus zwei Einstellungen auf gleiche Helligkeit die Differenz $\varepsilon = \gamma'' - \gamma'$ der „*match*“-Azimute, so ist wegen Gl. 5) $\gamma'' - \gamma' = \gamma'^* - \gamma^* = 90 - 2\gamma^*$ und $2\gamma^* = 90 - \varepsilon$. Dieser mittels ε gewonnene Wert von $2\gamma^*$, der der Phasendifferenz Δ' und dem Azimut $\beta = 45^0$ entspricht, muß der Gl. 3) genügen.

Wir haben also

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta'}{2}+\delta\right) = -\frac{\sin 2\gamma^* \sin\Delta^2}{1-2\sin^2 2\gamma^* \sin^2\frac{\Delta_2}{2}}$$

und endlich

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta_1 \sin 2\beta}{2}+\delta\right) = -\frac{\sin 2\gamma^* \sin\Delta_2}{1-2\sin^2 2\gamma^* \sin^2\frac{\Delta_2}{2}} = -\frac{\cos\varepsilon \sin\Delta_2}{1-2\cos^2\varepsilon \sin^2\frac{\Delta_2}{2}}. \qquad 6)$$

Damit ist der Satz über die Veränderlichkeit des Halbschattens bewiesen.

Als Illustration diene folgender Versuch:

Eine ziemlich dicke ($\Delta_1 = 16^0 44'$) Halbschattenplatte wurde bei komplementären Azimuten (30^0 und 60^0, 20^0 und 70^0) untersucht. Beim Übergange zu einem komplementären Azimute bleibt das Achsenverhältnis wie auch der Rotationssinn der Schwingungsellipse unverändert, die Ellipse selbst wird aber so um 2α gedreht, daß sie eine Lage einnimmt, die symmetrisch mit der ursprünglichen in bezug auf die

Polarisationsebene ist. Die dadurch verursachte Änderung des Kompensatorazimutes beträgt $2\,\Delta\gamma$. Die beobachteten und die berechneten Größen sind in Tabellen 1 bis 3 zusammengestellt. Die Phasendifferenz im Kompensator betrug $31^0\ 25'$.

Tabelle 1.

Ohne doppeltbrechendes Medium.

β	α	Ablesungen am Teilkreis		ε	$2\,\Delta\gamma'$	$2\,\Delta\gamma''$	$2\,\Delta\gamma$	$\Delta'/2$	$\Delta'/2$
					beob.		ber.	beob.	ber.
45°		102°,00	208°,28	73°,72				8° 22	—
30°	0°,53	103°,20	207°,35	75°,85	0°,25	0°,25	0°,28	7° 17′	7° 15′
60°		102°,95	207°,10	75°,85					
20°	0°,60	105°,10	205°,50	79°,60	0°,40	0°,30	0°,32	5° 23′	5° 25′
70°		104°,70	205°,20	79°,50					

Tabelle 2.

Ein Glimmerblättchen eingesetzt.

β	Ablesungen am Teilkreis		ε	$2\,\Delta\gamma'$	$2\,\Delta\gamma''$	$2\,\Delta\gamma$	$\frac{\Delta'}{2}+\delta$	δ
				beob.		ber.		
45°	99°,00	211°,30	67°,70				11° 28′	3° 6′
30°	100°,35	210°,30	70°,05	0°,35	0°,35	0°,39	10° 16′	2° 59′
60°	100°,00	209°,95	70°,05					
20°	102°,20	208°,45	73°,75	0°,45	0°,40	0°,49	8° 23′	3° 0′
70°	101°,75	208°,05	73°,70					

Tabelle 3.

Glimmerblättchen um 90° gedreht.

β	Ablesungen am Teilkreis		ε	$2\,\Delta\gamma'$	$2\,\Delta\gamma''$	$2\,\Delta\gamma$	$\frac{\Delta'}{2}-\delta$	δ
				beob.		ber.		
45°	104°,95	205°,25	79°,70				5° 18′	3° 4′
30°	106°,10	204°,35	81°,75	0°,15	0°,15	0°,17	4° 14′	3° 3′
60°	105°,95	204°,20	81°,75					
20°	107°,85	202°,55	85°,30	0°,15	0°,15	0°,15	2° 25′	2° 58′
70°	107°,70	202°,40	85°,30					

Gl. 4) steht also in guter Übereinstimmung mit dem Versuche auch in dem Falle, wo Δ_1 ziemlich groß gewählt wurde. Die $\Delta\gamma$ zeigen Schwankungen, welche die Fehler des Versuches nicht überschreiten. Die gefundenen und die nach der Gleichung $\Delta_1' = \Delta_1 \sin 2\beta$ berechneten Werte der „scheinbaren“ Phasendifferenz in der Halbschattenplatte stimmen gut überein.

In dem man $\sin 2\gamma^* = -\dfrac{\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta'}{2}+\delta\right)}{\sin \Delta_2}$ in Gl. 4) einsetzt, hat man

$$\Delta\gamma = -\frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta'}{2}+\delta\right)\operatorname{tg}\frac{\Delta_2}{2}}{2\sin\Delta_2\cos\left(\frac{\Delta'}{2}+\delta\right)\sin\frac{\Delta'}{2}}\cdot\alpha,$$

oder $\Delta\gamma$ nahe gleich $\alpha/4$, was auch Tabelle 1 zeigt.

2. Die Größe der Phasendifferenz im Kompensator.

Durch Einsetzen der Halbschattenplatte bei kleinen Azimuten kann man die Empfindlichkeit des Halbschattenkompensators in hohem Maße steigern. Doch ist dieser Empfindlichkeitssteigerung bald eine Grenze gesetzt, da sie mit einem schnellen Abfall der Lichtintensität bei Einstellung auf *„match“* verbunden ist. Es ist darum die Frage über den Einfluß, den die Phasendifferenz in der kompensierenden Platte auf die Genauigkeit der Messung hat, von Wichtigkeit. Sehr verbreitet ist die Meinung, daß diese Phasendifferenz auch klein sein muß. So findet z. B. H. Bergholm[1]) als geeignetste Größe der Phasendifferenz im Kompensator ca. 4^0 bis 6^0. Wie folgende Überlegung zeigt, ist diese Ansicht nicht ganz zutreffend.

Gl. 3) kann auch geschrieben werden

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta_1}{2}+\delta\right)=-\frac{\sin 2\gamma \sin \Delta_2}{1-2J'}. \tag{7}$$

Wir setzen Δ_1 als klein voraus. Dann ist J' immer klein gegen 1. Bei Ausführung von Differentiationen kann man also $1-2J$ als konstant annehmen.

Mit genügender Annäherung setzen wir $1-2J=1$.

Durch Differentiation von Gl. 7) nach $\sin \Delta_2$ und $\sin 2\gamma$ und Einsetzen von

$$\sin 2\gamma = -\frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta_1}{2}+\delta\right)}{\sin \Delta_2}$$ erhalten wir

$$d\left(\frac{\Delta_1}{2}+\delta\right)=\frac{\sin(\Delta_1+2\delta)}{2\sin \Delta_2}\,d\sin \Delta_2-\sin \Delta_2\cdot\cos^2\left(\frac{\Delta_1}{2}+\delta\right)d\sin 2\gamma. \tag{8}$$

Wie ersichtlich, ist eine Vergrößerung von Δ_2 mit einer Verkleinerung des Fehlers von δ verknüpft, doch läßt sich, solange $d\sin 2\gamma$ als Funktion von Δ_2 unbekannt ist, über den Einfluß von Δ_2 auf den zweiten Summanden und mithin auch auf $d\left(\frac{\Delta_1}{2}+\delta\right)$ noch nichts aussagen.

Der Fehler in $\sin 2\gamma$ hängt ab:

1. von dem Fehler in φ,
2. von dem Fehler in β,
3. von der Genauigkeit, mit welcher 2γ sich bestimmen läßt.

Setzt man in Gl. 2) $J_1-J_2=0$, $\beta=45^0$ und führt die Differentiation nach γ und φ aus, so ist (bei $\varphi=90^0$)

$$d\gamma=\frac{(2A-B-C)\sin 2\gamma-(B-C)}{2\cdot(2A-B-C)\sin 2\gamma-(B-C)}\,d\varphi.$$

Bis auf Größen zweiter Ordnung demnach

$$d\gamma = d\varphi$$

und

$$d\gamma' = d\gamma''.$$

Haben wir zwei Ablesuugen am Teilkreis für zwei *„match“*-Stellungen des Kompensators und schreiben wir $\varepsilon=\gamma'-\gamma''=90-2\gamma$, so ist der aus ε berechnete Wert von γ in keinerlei Weise durch mangelhafte Einstellung der Nikols auf Dunkelheit beeinflußt.

---

[1]) *Ann. d. Physik* **44**. *S. 1062. 1914.*

Ganz analog ergibt sich durch Differenzieren von Gl. 2) nach β und γ (bei $\varphi = 90$) und nachfolgendem Einsetzen von $\beta = 45$:

$$d\gamma = \frac{(2A - B - C)\sin 2\gamma}{2(2A - B - C)\sin 2\gamma - (B - C)} d\varphi$$

als klein höherer Ordnung und somit als ohne Einfluß auf das Resultat.

Es bleibt also nur derjenige Fehler in $\sin 2\gamma$ übrig, welcher von der unvollkommenen Einstellung auf gleiche Helligkeit herrührt.

Ist $d(J_1 - J_2)$ die Änderung von $J_1 - J_2$, welche eine kleine Drehung des Kompensators verursacht, so hat man für „*match*" $d(J_1 - J_2) = J_1{}^* - J_2{}^*$, wo $J_1{}^*$ und $J_2{}^*$ die Intensitäten nach der Verdrehung bedeuten.

Differenziert man Gl. 2) nach $\sin 2\gamma$, so hat man unter Vernachlässigung von $\sin 2\gamma\left(A - \frac{B-C}{2}\right)$ gegen $\frac{B-C}{2}$

$$J_1{}^* - J_2{}^* = \frac{B-C}{2} d\sin 2\gamma = \frac{\sin\frac{\varDelta_1}{2}\cos\left(\frac{\varDelta_1}{2} + \delta\right)\sin\varDelta_2}{2} d\sin 2\gamma.$$

Wir wollen jetzt den Ausdruck für $\frac{J_1{}^* - J_2{}^*}{J}$, d. h. für das Verhältnis der kleinsten noch für das Auge bemerkbaren Intensitätsänderung $J_1{}^* - J_2{}^*$ zu der Intensität J, welche bei Einstellung auf gleiche Helligkeit herrscht, aufsuchen. Da aber die Formel für J zu verwickelt ist, wollen wir J durch seinen Wert J_0, welcher bei „*match*" ohne doppeltbrechendes Medium besteht, ausdrücken.

Es ist

$$J_0 = \sin^2 2\gamma_0 \sin^2\frac{\varDelta_2}{2} = \frac{\operatorname{tg}^2\frac{\varDelta_1}{2}\sin^2\frac{\varDelta_2}{2}}{\sin^2\varDelta_2} = \frac{\operatorname{tg}^2\frac{\varDelta_1}{2}}{4\cos^2\frac{\varDelta_2}{2}}.$$

J kann geschrieben werden, indem man $\varphi = 90^0$, $\beta = 45^0$, $\sin 2\gamma = -\frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\varDelta_1}{2} + \delta\right)}{\sin\varDelta_2}$ und δ statt $\varDelta_1$ in Gl. 1) einsetzt:

$$J = \sin^2\frac{\delta}{2} + \frac{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\varDelta_1}{2} + \delta\right)\cos\delta}{4\cos^2\frac{\varDelta_2}{2}} - \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\varDelta_1}{2} + \delta\right)\sin\delta}{2}.$$

Daher

$$J - J_0 = \sin^2\frac{\delta}{2} + \frac{\operatorname{tg}^2\left(\frac{\varDelta_1}{2} + \delta\right)\cos\delta - \operatorname{tg}^2\frac{\varDelta_1}{2}}{4\cos^2\frac{\varDelta_2}{2}} - \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\varDelta_1}{2} + \delta\right)\sin\delta}{2}.$$

Unter Einführung der Näherungen

$$\cos\delta = 1 \quad \text{und} \quad \cos^2\left(\frac{\varDelta_1}{2} + \delta\right)\cos^2\frac{\varDelta_1}{2} = 1$$

ist

$$J - J_0 = \sin^2\frac{\delta}{2} + \frac{\sin(\Delta_1 + \delta)\sin\delta}{4\cos^2\frac{\Delta_2}{2}} - \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta\right)\sin\delta}{2}.$$

Wegen der Kleinheit von Δ_1 und δ hat man näherungsweise

$$J - J_0 = \frac{(\Delta_1 + \delta)\delta\cdot\sin^2\frac{\Delta_2}{2}}{4\cos^2\frac{\Delta_2}{2}} \quad \text{und} \quad J = J_0\left(1 + \frac{4(\Delta_1 + \delta)\delta}{\Delta_1^2}\sin^2\frac{\Delta_2}{2}\right).$$

Daher

$$\frac{J_1^* - J_2^*}{J} = \frac{4\sin\frac{\Delta_1}{2}\cdot\cos\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta\right)\sin\Delta_2\cos^2\frac{\Delta_2}{2}}{\operatorname{tg}^2\frac{\Delta_1}{2}\left(1 + \frac{4(\Delta_1 + \delta)\delta}{\Delta_1^2}\sin^2\frac{\Delta_2}{2}\right)}\, d\sin 2\gamma. \qquad 9)$$

Setzen wir den Ausdruck für $d\sin 2\gamma$ aus Gl. 9) in Gl. 8) ein, so haben wir

$$d\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta\right) = \frac{\sin(\Delta_1 + 2\delta)}{2\sin\Delta_2}\cdot d\sin\Delta_2$$

$$- \frac{\operatorname{tg}\frac{\Delta_1}{2}\cdot\cos\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta\right)\left(1 + \frac{4(\Delta_1 + \delta)}{\Delta_1^2}\sin^2\frac{\Delta_2}{2}\right)}{4\cos^2\frac{\Delta_2}{2}\cos\frac{\Delta_1}{2}}\cdot\frac{J_1^* - J_2^*}{J},$$

mit genügender Annäherung demnach

$$d\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta\right) = \frac{\sin(\Delta_1 + 2\delta)}{2\sin\Delta_2}\, d\sin\Delta_2 - \frac{\operatorname{tg}\frac{\Delta_1}{2}\left(1 + \frac{4(\Delta_1 + \delta)}{\Delta_1^2}\sin^2\frac{\Delta_2}{2}\right)}{4\cos^2\frac{\Delta_2}{2}}\cdot\frac{J_1^* - J_2^*}{J}. \qquad 10)$$

Wächst Δ_2 von Null an, so ist damit der Wert von $d\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta\right)$ nach zwei Richtungen beeinflußt: es wächst der zweite Summand, indem der erste abnimmt. **Daraus folgt jedoch, daß die Verwendung von Kompensatoren mit kleiner Phasendifferenz nicht ganz berechtig ist und daß ein Kompensator von ca. 30° Phasendifferenz den Bedingungen der Empfindlichkeit besser als ein solcher von kleiner Phasendifferenz genügt.**

So wird z. B., wie Tabelle 4 zeigt, für $\Delta_1 = 1^0$, $\delta = 0{,}5^0$, $\frac{J_1^* - J_2^*}{J} = 0{,}02$, $d\Delta_2 = 2'$ die Genauigkeit des Resultats beträchtlich erhöht, falls man statt eines Kompensators mit $\Delta_2 = 5^0$ einen solchen mit $\Delta_2 = 30^0$ verwendet.

Tabelle 4.

Δ_2	$d\left(\frac{\Delta_1}{2} + \delta\right)$	$d\frac{\Delta_1}{2}$	$d\left(\frac{\Delta_1}{2} - \delta\right)$
5°	0,54′	0,36′	0,15′
30°	0,24′	0,15′	0,14′

Der unregelmäßige Schätzungsfehler bei Strichmikroskopen.

Von
Karl Lüdemann in Freiberg i. S.

In zwei Mitteilungen[1]) über mit Strichmikroskopen ausgestattete Theodolite mußte ich die Frage offen lassen, ob der mittlere unregelmäßige — linear ausgedrückte — Schätzungsfehler m_a, der bei der Abschätzung der Feldlage des Fadens oder Striches im Strichmikroskop begangen wird, durch die Beziehung

$$m_a = c \cdot J' \quad \text{oder} \quad m_a = c \cdot \sqrt{J'}$$

dargestellt wird. Hierin bezeichnet J' die scheinbare Größe der Teilungseinheit J des Kreises in dem Mikroskop mit der linearen Vergrößerung v, so daß

$$J' = v \cdot J$$

ist. v hat bei allen hier untersuchten Hildebrand-Instrumenten die Größe 50. c ist eine Konstante.

Da ich kürzlich Gelegenheit hatte, einen 12 cm-Theodolit mit Ablesung durch Strichmikroskope am Grund- und Höhenkreis zu untersuchen, habe ich die von mir früher mitgeteilten[2]) Werte durch Ergebnisse dieser Untersuchung ergänzt. Tafel 1 zeigt die jetzt vorliegenden Unterlagen.

Tafel 1.

Lfd. Nr.	Durchmesser der Teilung mm	Art des Kreises	Teilung	J		J'	$\sqrt{J'}$	Zahl der Schätzungen	m_a			$\frac{m_a}{J'}$	$\frac{m_a}{\sqrt{J'}}$
				Bogenmaß	mm	mm			$p/100$	Bogenmaß	linear mm		
1	80	Grundkr.	360°	$^1/_6{}^0$	0,116	5,80	2,41	4464	± 2,14	±12″,8	0,1241	0,0214	0,0515
2	120	Grundkr.	400^g	$^1/_{10}{}^g$	0,094	4,70	2,17	800	2,01	20″,1	0,0945	201	435
3	90	Höhenkr.	400^g	$^1/_{10}{}^g$	0,071	3,55	1,88	800	1,94	19″,4	0,0689	194	367
4	80	Grundkr.	360°	$^1/_{10}{}^0$	0,070	3,50	1,87	720	1,76	6″,3	0,0616	176	329
5	80	Grundkr.	400^g	$^1/_{10}{}^g$	0,063	3,15	1,77	1600	1,91	19″,1	0,0602	191	340
								8384					

Aus der Tafel 1 folgt:

1. Der mittlere unregelmäßige Ablesefehler m_a läßt sich für die hier vorliegenden Gesamtverhältnisse darstellen durch

$$m_a = 0{,}02\, J'.$$

Diese Bezeichnung liefert einen brauchbaren Näherungswert.

2. Die Verwendung größerer Teilungsdurchmesser als 80 mm, insbesondere solcher von 120 mm, ergibt bei gleicher Teilungseinheit keine Genauigkeitssteigerung. Sofern also nicht ein stärkeres Fernrohr verlangt wird, wird am besten der 8 cm-Theodolit mit Strichmikroskopen versehen.

3. Bei der Größe des mittleren unregelmäßigen Ablesefehlers und bei seinem Verhältnis zur erfahrungsmäßigen Größe des mittleren Zielfehlers des Fernrohres empfiehlt es sich, Strichmikroskoptheodolite mit Repetitionseinrichtung auszustatten.

---

[1]) Die kleinsten, mit Strichmikroskopen ausgestatteten Hildebrand-Theodolite. *Mitt. a. d. Markscheidewesen 1921. S. 19—33.* Versuche zur Feststellung der Größe und des Verlaufes des regelmäßigen Teiles des Schätzungsfehlers bei Strichmikroskopen.

[2]) *Allg. Verm.-Nachr. 34. S. 551—560. 1922.* — A. a. O. (Versuche usw.) *S. 554*, Tafel 2.

Kleine Mitteilungen.

Über die Herstellung einer empfindlichen Doppelplatte aus Glimmer für Polarisations-Apparate.

Nach Prof. Dr. Eligio Perucca in Turin.

Diese ca. 10 mm große Doppelplatte ist analog der von Bravais aus Gips vorgeschlagenen beschaffen und dient den gleichen Zwecken, hat aber eine wesentlich höhere Empfindlichkeit. Beide Hälften müssen absolut gleiche Dicke haben und die Achsen sind gekreuzt. Die Trennungslinie beider Platten muß so fein wie irgend möglich sein. Im Gegensatz zu der von Bravais kann die Dicke beider Platten beliebig sein, zur Erhöhung der Empfindlichkeit ist aber tunlichst geringe Dicke wünschenswert (etwa 0,005 mm).

Die schwierigste Arbeit bei der Herstellung der Platte ist das Spalten des Glimmers. Perucca empfiehlt folgendes Verfahren: Man nimmt eine gut klare Glimmerplatte von ca. 5×5 cm², tunlichst dünn, ca. $^1/_{10}$ bis $^1/_{20}$ mm, und sucht diese von einer Ecke (bei A der Fig. 1) der Platte beginnend mit einem sehr dünnen Glimmer- oder Zelluloid-Blatt, dessen Rand man zuvor geschliffen hat, zu spalten. Man setzt das Spalten längs der Ränder $ABCD$ in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung fort. Die in A begonnene Spaltung führt noch nicht allein zum Ziel. In A, zwischen die beiden Spalten, klemmt man eine sehr dünne Glimmerplatte. Man setzt die Spaltungen von A nach E fort, und wiederholt, bis man eine Platte von der erforderlichen Dicke und Konstanz erhalten hat.

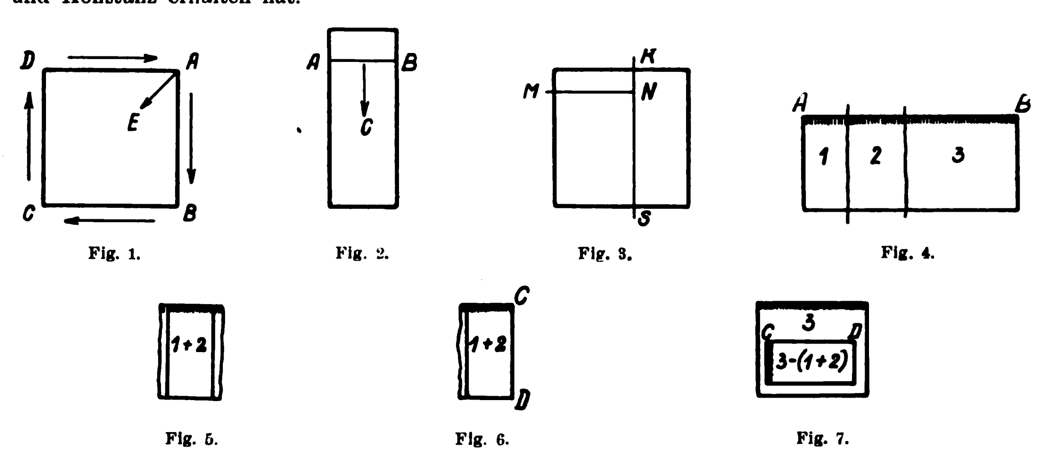


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7.

Ein zweites Verfahren, mit dem Prof. Perucca ebenfalls sehr dünne Platten erzielt, ist folgendes: Man nimmt eine sehr dünne, ca. $^1/_{20}$ mm dicke Glimmerplatte in der Größe von ca. 2×6 cm². Mit einem Rasiermesser macht man auf einer Schmalseite der Platte einen leichten Einschnitt AB (Fig. 2) und „knickt“ dann die Platte in AB. Es ergibt sich dadurch der Beginn der Spaltung, die man dann mit dem Zelluloidblatt — von C ausgehend — fortsetzt und dabei möglichst vermeidet, sich an die Ränder zu halten. — Wie zuvor, wird das Spalten wiederholt, bis man die erforderliche dünne Platte erhalten hat. Die Herstellung der Doppelplatte selbst erfolgt dann am besten wie folgt: Die durch Spaltung erhaltene Glimmerplatte wird in der Richtung $MNRS$ (Fig. 3) genau im rechten Winkel durchschnitten. Man dreht nun das Stück MNS, bis der Rand MN mit NS zusammenfällt und kittet beide Hälften auf eine planparellele Glasplatte.

Vielleicht noch einfacher ist folgendes Verfahren: Man zeichnet auf die durch Spaltung erhaltene Platte einen Markierungsstrich AB (Fig. 4). Nun zerschneidet man die Platte in drei Stücke 1 und 2 kleiner, 3 größer. Die Stücke 1 und 2 (Fig. 5) klebt man zusammen und richtet sie zwischen gekreuzten Nikols so, daß die Achsen in beiden Platten genau parallel laufen. Man verhindert das Verwechseln der Achsen in den Platten, indem man sich des Markierungsstriches bedient. Nach dem vollständigen Trocknen schneidet man den einen Rand CD der gedoppelten

Platte 1 und 2 (Fig. 6) scharf. Nun klebt man zwischen gekreuzten Nikols 1 und 2 so auf Stück 3 (Fig. 7), daß die Achse von 1 und 2 und die Achse von 3 gekreuzt sind. Endlich wartet man das vollständige Trocknen ab. Schließlich klebt man die so gebildete Doppelplatte zwischen zwei planparallele Glasplatten. Hierfür bedient man sich wieder des Markierungsstriches *AB*.

Carl Leiß-Berlin-Steglitz.

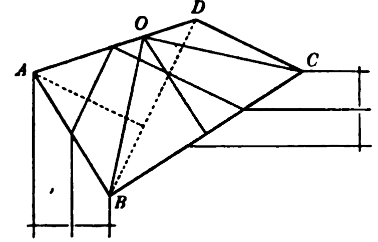
Referate.

Die Drehung von Prismen mit konstanter Ablenkung.

Von W. E. Forsythe, *Astrophys. Journ.* **45**. *S. 278. 1917.*

Der Verf. beschäftigt sich mit einem vierseitigen Prisma, welches eine konstante Ablenkung von 90° hat. Soll dasselbe in der Wirkung einem einfachen Prisma mit dem brechenden Winkel 2α gleich sein, so müssen die Winkel bei *A*, *B*, *C* und *D* gleich $45-\alpha^0$, 90^0, 135^0 und $90+\alpha^0$ sein.

Soll jeder im Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohres eingestellte Teil des Spektrums das Prisma im Minimum der Ablenkung durchlaufen, so muß das Prisma entsprechend gedreht werden. Verf. macht darauf aufmerksam, daß H. S. Uhler, welcher diese Frage in der *Physic. Rev.* **29**. *S. 37. 1909* behandelte, die Forderung aufstellt, daß die senkrechte Drehachse möglichst nahe am Objektiv des Beobachtungsrohres angebracht sein müsse, damit dieses immer den vollen Lichtbüschel erhalte.



Der Verf. weist geometrisch nach, daß die senkrechte Drehungsachse, um das Minimum der Ablenkung für jeden Strahl innezuhalten, durch den Punkt *O* gehen muß, der so definiert ist, daß die Winkelhalbierungslinie des Winkels bei *B* in ihm die reflektierende Fläche trifft. Dann ist nicht nur $BO=OC$, sondern die Senkrechte von *O* auf *BC* teilt auch diese in zwei gleiche Stücke.

Der Verf. macht noch ziemlich weitläufige Mitteilung darüber, wie man sich überzeugen kann, daß das volle aus dem Kollimatorobjektiv austretende parallele Lichtbüschel nicht gegen die optische Achse des Objektivs des Beobachtungsfernrohres geneigt in dieses eintritt. Die einfache und meines Wissens auch sonst schon benutzte Vorrichtung zu diesem Zweck beruht in zwei Kappen mit sehr kleinem zentralen Loch, die auf die Objektive der beiden Rohre aufgesetzt werden. Ist das dünne Lichtbüschel, welche hierbei der Kollimator entsendet, nach seinem Austritt aus dem Prisma seitlich verschoben, so findet es in das Beobachtungsrohr keinen Eingang und im Gesichtsfelde desselben entsteht kein Bild des Eintrittsspaltes

H. Krüss.

Das Kugelphotometer (Ulbrichtsche Kugel).

Von R. Ulbricht. *8. IV, 110 S. m. 31 Textabb. u. 3 Taf. München u. Berlin, R. Oldenbourg, 1920.*

In dem Bestreben, den mit dem Ulbrichtschen Kugelphotometer Arbeitenden den Überblick über das bisher Erreichte zu erleichtern, hat Verf. seine in den Jahren 1900 bis 1910 in der *ETZ* erschienenen Abhandlungen einer Neubearbeitung in der Weise unterzogen, daß er unter Mitberücksichtigung der bis 1920 veröffentlichten fremden Mitteilungen das sachlich Zusammengehörige zusammenfaßte. Das vorliegende Werk ist das Ergebnis dieser Neubearbeitung. Ein ausführliches Referat über die bis 1906 reichende Literatur hat E. Brodhun in *dieser Zeitschr.* **26**. *S. 316—320. 1906* erstattet. Im folgenden soll über über die Weiterentwicklung des Kugelphotometers kurz berichtet werden.

In den Jahren 1907 und 1909 beendete Ulbricht seine Bestimmungen der Blenden- und Fremdkörperwirkung, sowie des Lichtschwerpunktes mittels eines besonders gebauten Apparates (Suchers). Weitere von ihm veranlaßte Untersuchungen über den Einfluß der Farbtönung und unvollkommenen Streuung von Kugelanstrich und Meßfenster wurden 1910 von E. Dyhr ausgeführt und veröffentlicht. Damit ist die Behandlung der wesentlichen Fragen bezüglich der kugel-

photometrischen Einrichtungen und Verfahren durch Ulbricht zu einem gewissen Abschluß gebracht worden.

Der auf das Meßfenster fallende, der mittleren räumlichen Lichtstärke proportionale Lichtstrom wird nach Ulbricht jetzt vorwiegend in der Weise bestimmt, daß man die Flächenhelle des Fensters mittels eines der üblichen Universalphotometer (z. B. von Weber, Brodhun) mißt. Das früher übliche Verfahren, die horizontale Lichtstärke des Fensters unter Benutzung einer geraden Photometerbank mittels eines Photometeraufsatzes und einer Normallampe zu messen, ist umständlicher und verlangt eine verhältnismäßig große Fensteröffnung.

Nach dem Vorgange von Corsepius geben H. Stieberitz und Gebrüder Barnewitz, beide in Dresden, Schmidt & Haensch in Berlin der Kugel eine vertikale Halbteilung, wobei

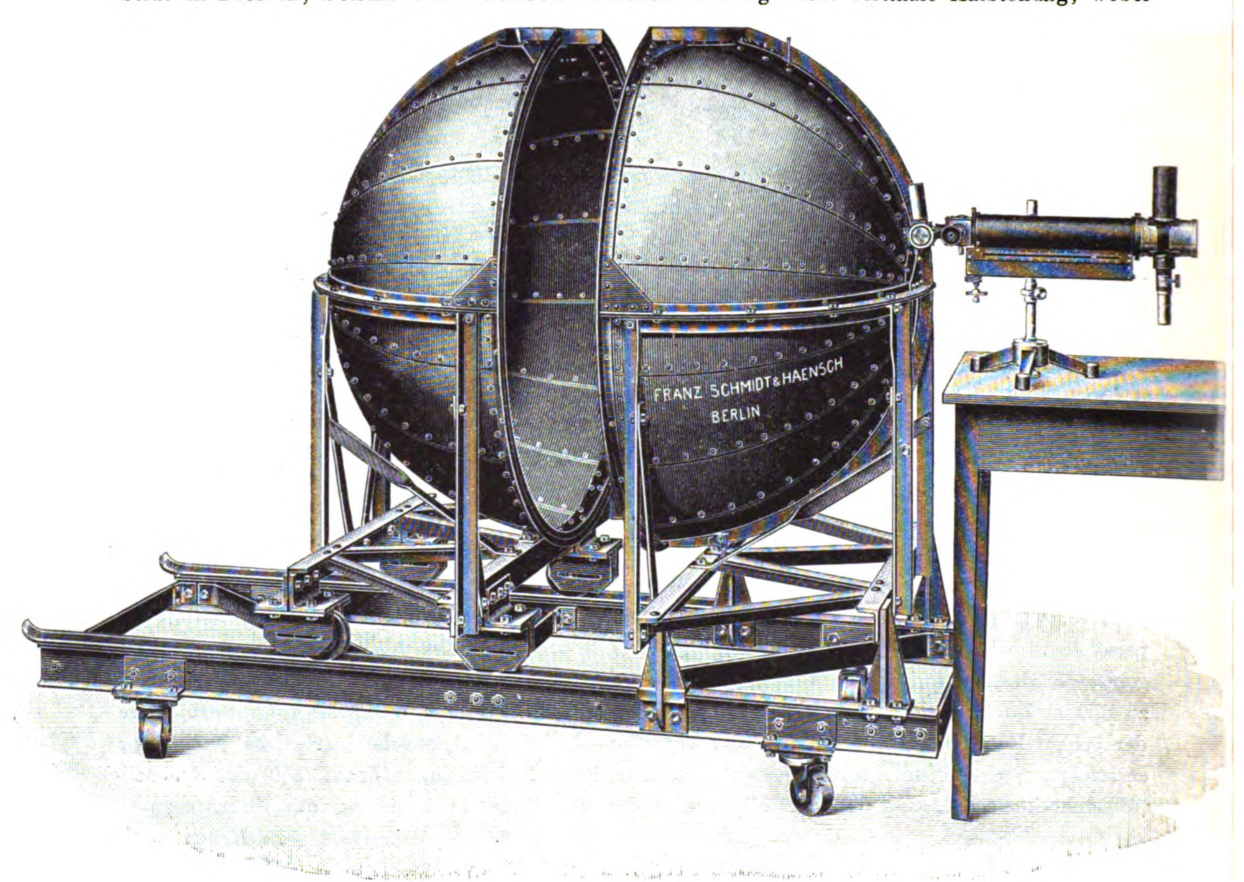


Fig. 1.

die eine Hälfte mit Milchglasfenster, Blendenführung, zu messender Lampe und gegebenfalls auch Normallampe feststeht, die andere beweglich ist. A. Krüss in Hamburg schneidet zur Erhöhung der Handlichkeit als beweglichen Teil nur ein Drittel der Kugel heraus. Die Bogenlampenfabrik Körting & Mathiesen in Leipzig versieht ihre ungeteilte, große Kugel (von 3 m Durchmesser) lediglich mit einer Einsteigeöffnung. Handelt es sich ausschließlich um technische Messungen von Glühlampen, so empfiehlt es sich, in der ungeteilten Kugel eine verhältnismäßig kleine, mit dem Lampensockel fest verbundene Klappe anzubringen; die Lampen können dann außerhalb der Kugel ausgewechselt werden und erhalten beim Schließen der Klappe von selbst ihren für die Messungen bestimmten Platz, dessen Abstand von der Kugelwand, wenn möglich, den 0,3. Teil des Kugelradius nicht unterschreiten sollte. Mit Kugeln von 1 m Durchmesser kann man schon eine beträchtliche Stufenfolge von Glühlampen verschiedener Lichtstärken messen; um vollständig freie Hand zu haben, ist nach Ulbricht ein Durchmesser von 2 m zu empfehlen. Bei der Messung von Zwerg-

lampen für Taschenbatterien bedienen sich die **Electrical Testing Laboratories New York** kleiner Kugeln bis herab zu 0,3 m Durchmesser. In der **Physikalisch-Technischen Reichsanstalt** werden solche Lampen ebenfalls mit der 2 m hohen Kugel gemessen, indem man das Milchglasfenster herausnimmt und die Flächenhelle der gegenüberliegenden, dann natürlich gegen das direkte Licht geschützten Stelle der Wand bestimmt.

Als Innenanstrich wird jetzt wohl allgemein der 1915 von Utzinger (s. das Referat in *dieser Zeitschr. 36. S. 23. 1916)* auf Grund ausgedehnter Versuche empfohlene Anstrich benutzt. Derselbe besteht aus einem wasserfesten Grundanstrich (in Firnis geriebenes Bleiweiß oder Bleiweißersatz, mit einer Mischung von Kopallack und Terpentin verdünnt) und einem abwaschbaren Deckanstrich (Zinkweiß, in Wasser angerührt und mit Leimlösung verdünnt). Als Metallunterlage für den Grundanstrich dient galvanisch verzinktes Eisenblech, das eine gleichmäßig rauhe Oberfläche hat und dadurch ein sicheres Haften des Grundanstriches gewährleistet. Ein solcher Deckanstrich besitzt eine möglichst diffus reflektierende Oberfläche, ist nahezu weiß, d. h. reflektiert alle Wellenlängen nahezu gleich stark (ändert also nicht die Farbe des Lichtes) und bleibt bei vorsichtiger Behandlung auf mehrere Jahre brauchbar. Übrigens liefert eine schwache Farbtönung des Anstriches nach Dyhr noch zuverlässige Ergebnisse.

Abb. 1 zeigt eine (noch nicht mattweiß angestrichene) auf fahrbarer Gleisbahn angebrachte, aus zwei Halbkugeln zusammengesetzte Kugel von 2 m Durchmesser, geöffnet und mit abgenommener Kappe, also für hemisphärische Messungen eingerichtet; für sphärische Messungen wird die Kappe bekanntlich wieder aufgesetzt. Die Kugel ist aus halben Kugelzweiecken von galvanisch verzinktem Eisenblech, deren Pol in der Mitte des Milchglasfensters liegt, zusammengesetzt.

Zum Zwecke einer billigen Herstellung hatte Sumpner 1910 die Verwendung eines Würfels statt einer Kugel vorgeschlagen. Dieser Weg ist jedoch sofort von Ulbricht u. a. als ungangbar bezeichnet worden. Neuerdings hat Buckley einen durch Abstumpfung der Würfelecken entstandenen Vierzehnflächner als Hohlkörper empfohlen. Auch gegen diesen Vorschlag nimmt Ulbricht ablehnend Stellung *(s. Zeitschr. f. Beleuchtungsw. 1922. S. 43).* Um den Blenden- und

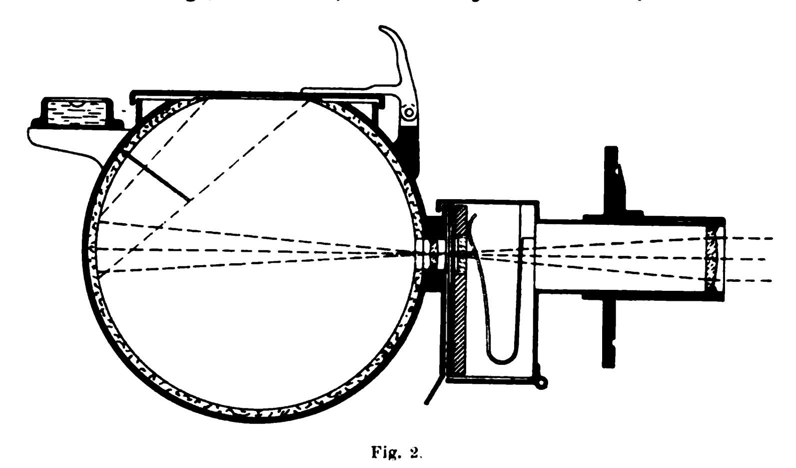


Fig. 2.

Lampenkörper-Einfluß zu vermindern, hat Bendford für Lampen mit nahezu axialsymmetrischer Lichtverteilung 1916 empfohlen, die Blende so nahe an das Milchglasfenster zu bringen, daß sie von diesem aus gesehen, genau die Hälfte der Kugel verdeckt. Für Lampen mit unsymmetrischer Lichtverteilung ist, wie Ulbricht zeigt, dies Verfahren nicht anwendbar.

Von Verwertungen des kugelphotometrischen Prinzips seien hier die folgenden aufgeführt. Bei dem als Kugel-Auffangschirm bezeichneten, 1913 angegebenen Beleuchtungsmesser von Schmidt & Haensch (Abb. 2) bringt man die obere, freie Öffnung einer kleineren Photometerkugel an den Ort, dessen Beleuchtung man bestimmen will, und mißt die Flächenhelle der durch eine Blende vor direkter Bestrahlung geschützten Stelle mittels eines Universalphotometers. Diese Flächenhelle ist dem einfallenden Lichtstrom, mithin auch der in der Einlaßöffnung herrschenden

Beleuchtung nahezu proportional, während bei den üblichen Auffangschirmen (aus Karton, Gips, Milchglas usw.) für große Einfallswinkel Flächenhelle und Beleuchtung nur angenähert proportional sind. Auf Grund ähnlicher Überlegungen hatte Ulbricht der Firma Siemens & Halske 1917 vorgeschlagen, an ihre große Photometerkugel zur Erweiterung des Meßbereiches eine kleine so anzufügen (Abb. 3), daß beide in der freien, sonst von einem Milchglase bedeckten Öffnung M zusammenstoßen, und die Beleuchtung des durch die Blende B_1 gegen M abgeschirmten Milchglases M_1 zu messen. Diese Beleuchtung ist dem durch M in die kleine Kugel einfallenden Lichtstrom proportional; man kann sie also, wenn man in M eine meßbar verstellbare Blende anbringt, meßbar verändern und so den Meßbereich des Photometers erweitern. Die Eigenschaft der Photometerkugel, durch das zurückgeworfene Licht eine außerordentlich kräftige und gleichmäßige Wandbeleuchtung zu erzeugen, ist vielfach nutzbar gemacht worden, z. B. bei den Universalphotometern und den Kugelepiskopen von Schmidt & Haensch. Die große Gleichmäßigkeit der indirekten Wandbeleuchtung verwertete Ulbricht 1918 zur Prüfung des Dämmerungs-Sehvermögens, d. h. zur Feststellung derjenigen sehr geringen Flächenhellen, die eben noch die Erkennung von Formen möglich machen. Er bediente sich hierzu eines Systems dreier kleiner Photometerkugeln, bei denen das Milchglasfenster der ersten die Lichtquelle der zweiten, das Milchglasfenster der zweiten die Lichtquelle der dritten Kugel bildete, und schwächte durch Verstellen der an den Fenstern I und II angebrachten Schieber die Flächenhelle des Fensters III auf die für den vorliegenden Zweck brauchbaren Beträge meßbar ab.

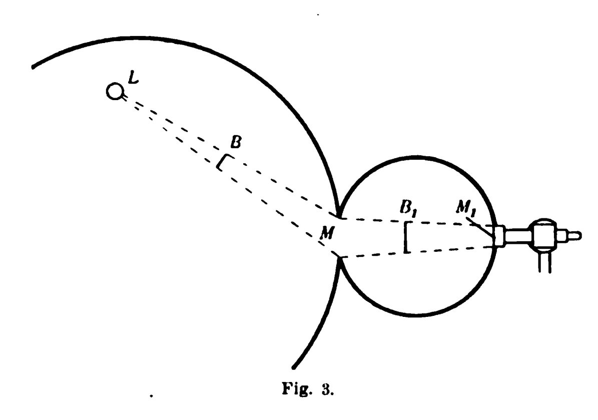


Fig. 3.

Daß sich Ulbricht der Mühe unterzogen hat, in diesem Werke seine reichen Erfahrungen klar, übersichtlich und in gedrängter Kürze zusammenzustellen, ist mit großem Danke anzuerkennen. Es wäre jedoch wünschenswert, daß bei einer Neuauflage nicht nur die Endergebnisse umfangreicher Rechnungen, sondern auch noch einige Zwischenglieder mitgeteilt würden, damit dem weniger geübten Rechner das Nachrechnen erleichtert werde. *E. Lb.*

Über die Brauchbarkeit des Wellmannschen Doppelbildmikrometers zu mikrometrischen Messungen.

Von E. Ernst. *Veröffentl. d. Badischen Sternwarte zu Heidelberg (Königstuhl). Bd. 8. Nr. 1.*

Während bei den Doppelbildmikrometern von Rochon und Arago das aus zwei dreiseitigen Quarzprismen, deren optische Hauptachsen senkrecht aufeinander stehen, zusammengesetzte Parallelepiped in der Richtung der Fernrohrachse verschoben und dadurch ein Bild des einen Objektes mit einem Bild des anderen Objektes zum Zusammenfallen gebracht wird, dient bei dem Wellmannschen Doppelbildmikrometer (vgl. *diese Zeitschr.* ***10.*** *S. 141. 459. 1890*), um dessen Verbesserung und theoretische Durcharbeitung sich besonders Herr Brendel verdient gemacht hat, die bei Drehung des Doppelprismas um die Absehenslinie des Fernrohres als Achse erfolgende Änderung der Lage der Bilder im Gesichtsfeld zur Bestimmung der Entfernung zweier Objekte, z. B. der beiden Komponenten eines Doppelsternes oder der beiden Endpunkte eines Planetendurchmessers.

Zu diesem Zweck ist in der Brennebene des Fernrohrobjektivs ein Fadenkreuz angebracht, von dem natürlich im allgemeinen auch zwei Bilder sichtbar sind, deren eines sich bei Drehung des Doppelprismas um das andere bewegt, so daß die beiden Bilder je eines Fadens sich immer parallel bleiben. Wie nun beim gewöhnlichen Fadenmikrometer der Abstand zweier Fadenstellungen durch die Feinschraube ausgemessen wird, so geschieht dies bei dem Wellmannschen Doppelbildmikrometer durch den Winkel, um den das Doppelprisma gedreht werden muß.

Leider bleiben jedoch, wenn man das Doppelprisma, sei es das Rochonsche oder Wollastonsche oder sonst eines der gebräuchlichen, von der Stellung aus, bei welcher die zwei Bilder eines Fadens zusammenfallen, dreht, die beiden Fadenbilder nicht genau einander parallel; und es werden daher die beiden Bilder eines Sternes in den verschiedenen Quadranten ungleiche Distanzen zeigen. Herr Brendel hat daher zwei Formen von Doppelprismen berechnet, bei welchen dieser Mißstand nicht vorhanden ist, die beiden Fadenbilder sich also wirklich parallel bleiben. Von den beiden Formen empfiehlt sich aber für astronomische Zwecke nur die aus Quarz, nicht die aus Kalkspat hergestellte, da nur sie genügend achromatische Bilder liefert. Brendel gibt aber auch eine Formel für die Korrektion der gemessenen Distanz an, wenn die beiden Fadenbilder sich, wie bei den gewöhnlichen Prismen, nicht parallel bleiben.

Die nach Brendels Vorschriften konstruierten Prismen (besser Doppelprismen), welche parallele Fadenbilder zeigen, haben allerdings den Nachteil, daß die größten mit ihnen zu messenden Distanzen kaum halb so groß sind wie z. B. die mit einem Wollastonschen Prisma meßbaren. Bei 450facher Vergrößerung können Distanzen bis 4″, bei 300facher bis 6″ und bei 90facher bis 20″ gemessen werden. Um größere Distanzen bei starker Vergrößerung zu messen, kann man zwei Prismen hintereinander anbringen, so daß von den im allgemeinen entstehenden vier Bildern zwei wieder vernichtet werden. Aber auch mit einem gewöhnlichen Prisma, wie dem Wollastonschen und dem Rochonschen, kann man durch geeignete Anordnung der Messungen ein richtiges Resultat für die Distanz erhalten, am besten durch Einstellung derselben in allen vier Quadraten.

Außer dem parallele Fadenverschiebung zeigenden Doppelprisma berechnete Brendel auch ein dieses Vorzugs zwar entbehrendes, für einfarbiges und spektrales Licht aber sich gut eignendes, aus Kalkspat und Glas bestehendes Doppelprisma, dessen Glasprima dem Beobachter zugewendet ist, so daß das Kalkspatprisma äußeren Einflüssen weniger ausgesetzt ist.

Die in den Jahren 1890 und 91 von Knorre, Wellmann, Brendel und See am Berliner Refraktor angestellten Messungen der Distanzen von Doppelsternen, wobei ein Wollastonsches und ein parallele Verschiebung der Fadenbilder zeigendes Brendelsches Prisma benutzt wurde, ließen das Wellmannsche Doppelbildmikrometer für diesen Zweck als sehr gut geeignet erkennen.

In den Jahren 1912—13 hat sodann Herr E. Ernst auf der Heidelberger Sternwarte ebenfalls von Doppelsternen Distanzen und von Planeten Durchmesser beobachtet und für seine im Jahre 1918 der Heidelberger math.-naturw. Fakultät eingereichte Doktordissertation „Über die Brauchbarkeit des Wellmannschen Doppelbildmikrometers zu mikrometrischen Messungen“ verwendet. Die Herausgabe der ganzen Abhandlung, welche in den einzelnen Kapiteln Historisches, Beschreibung des Instruments, Untersuchung des Prismas, Ableitung der Reduktionsformeln usw. enthält, ist leider durch die Ungunst der Zeiten unmöglich gemacht. In den „Veröffentlichungen der Heidelberger Sternwarte“ sind aber wenigstens die Beobachtungen und das auf diese gegründete Urteil über die Brauchbarkeit des Wellmannschen Mikrometers wiedergegeben. Verfasser hatte ein solches Mikrometer, welches nach den Angaben von Brendel aus einem Kalkspat und einem Glasprisma bestand, an einem zwölfzölligen Refraktor der Heidelberger Sternwarte angebracht. Es zeigte, wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, keine parallelen Fadenbilder, durch Anstellung der Messungen in allen vier Quadranten ergab sich aber das Mittel derselben bereits nahezu fehlerfrei. Das Urteil des Verfassers geht dahin, daß das Wellmannsche Doppelbildmikrometer in der Sicherheit der Messungen von weiten Doppelsternen (4″—27″) dem Fadenmikrometer etwas überlegen ist, selbst bei Anwendung eines unvollkommenen Prismas. Und da nach Knorre u. a. diese Überlegenheit sich auch bei der Messung enger Doppelsterne herausstellte, so kann das Wellmannsche Mikrometer überhaupt als ein für Doppelsternmessungen sehr geeignetes Instrument bezeichnet werden. Der Vorteil vor dem Fadenmikrometer besteht darin, daß die Messungen frei sind von Fehlern der Mikrometerschraube, der mangelhaften Führung und den Bisektionsfehlern. Der Fehler der Distanzmessung, welcher bei Nichtparallelität der beiden Fadenbilder auftritt und, falls nur eine Messung vorliegt, rechnerisch beseitigt werden muß, kann durch Anstellung der Messungen in allen vier Quadranten fast völlig eliminiert werden. Verfährt man so, so lassen sich die Messungen selbst bei Anwendung eines unvollkommenen Prismas nach

einer ebenso einfachen Formel reduzieren wie bei einem vollkommenen Prisma und wie beim Fadenmikrometer. Für Messungen an Planetenscheiben ist nach dem bei Bestimmung des Saturn- und des Venus-Durchmessers gewonnenen Urteil des Verfassers das Mikrometer nur beschränkt geeignet, da sich hierbei die Bilder überdecken und ein Tangieren der Fäden mit den Bildern erforderlich ist. *Otto Knopf.*

Bücherbesprechungen.

S. N. Lampadarios, Das Nivellement-Netz der Stadt Athen, ihrer Vororte und Umgebung. 8°. VI, 76 S. mit 17 Abbildungen und 3 Kartenbeilagen. Athen 1921, Topographischer Dienst des Verkehrsministeriums.

Die von Prof. Haid an der Techn. Hochschule in Karlsruhe eingeleiteten großen Vermessungen in Griechenland, die von seinem damaligen Assistenten Kraft (jetzt Vorstand des Topograph. Bureaus der bad. Straßen- und Wasserbaudirektion) von 1911—14 mit großem Erfolge organisiert und mit griechischem Personal in Gang gebracht worden sind, haben unter ihrem jetzigen Leiter Dipl.-Ing. Lampadarios, Prof. der Geodäsie an der Techn. Hochschule in Athen, der in Deutschland studiert hat, einen neuen Aufschwung genommen. Lampadarios hat Abteilungen für Topographie und Katasterwesen eingerichtet und er hat als Direktor dieser Abteilungen jetzt sein Hauptnivellement von Athen und Umgebung in einem im Juli 1921 erschienenen, leider nur in griechischer Sprache abgefaßtem Hefte veröffentlicht. Für dieses Nivellement sollte das große Zeisssche Nivellierinstrument mit Invarbandlatte verwendet werden; da aber wegen

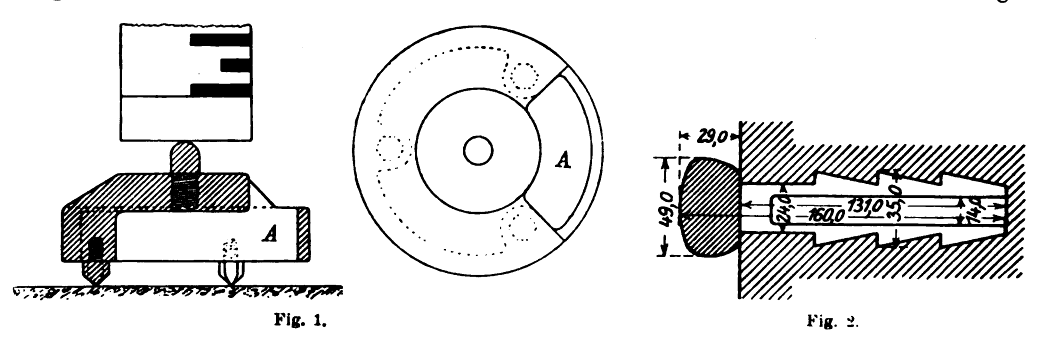


Fig. 1. Fig. 2.

technischen Anforderungen nicht auf dessen Fertigstellung gewartet werden konnte, so ist das kleinere Wild-Zeisssche Nivellierinstrument mit gewöhnlichen aber gut verglichenen Latten genommen worden. Recht praktisch ist die Einrichtung einer Aussparung *A* an der Bodenplatte (Fig. 1), durch die die Platte angefaßt wird, wodurch der sonst übliche Handgriffring wegfällt. Die Form der Höhenbolzen ist ebenfalls vorteilhaft gewählt (Fig. 2), wulstförmiger Kopf, außen mit dem größten Durchmesser, damit auch dann noch der höchste Punkt gefaßt wird, wenn wegen Mauerhindernis die Latte gerade nur noch auf dem Rand des Bolzens aufgesetzt werden kann; auch mit aufgewölbter Stirnfläche, um den Bolzen auch vertikal verwenden zu können.

Die ganze nivellierte Länge ist 350 km, der größte Höhenunterschied 180 m. Die durchschnittliche Meßgeschwindigkeit bei Verwendung von 2 Latten und mittlerer Ziellänge von 34 m ist 1,4 km in der Stunde. In einem Gartengebiet zwischen Athen und Piräus ist wegen Zeitersparnis mit größerer Zielweite und etwas geringerer Genauigkeit nivelliert worden. In Athen wurde des Verkehrs wegen nur früh zwischen 3 und 5 Uhr unter Benutzung elektrischer Taschenlampen gemessen. Der mittlere km-Fehler des Doppelnivellements ist für die 4 Gebiete Stadt Athen, Zwischengelände, Piräus, Faliron: $\pm$ 1,7 mm, $\pm$ 2,5 mm, $\pm$ 1,1 mm, $\pm$ 1,0 mm. Diese Genauigkeit genügt für alle technischen Zwecke. *Haußmann.*

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, W. Breithaupt in Cassel, M. Edelmann in München, P. Guthnick in Neubabelsberg, O. Günther in Braunschweig, W. Haensch in Berlin, E. v. Hammer in Stuttgart, K. Haußmann in Berlin, W. Hildebrand in Freiberg i. S., E. Kohlschütter in Potsdam, H. Krüss in Hamburg, H. Ludendorff in Potsdam, O. Lummer in Breslau, H. Maurer in Berlin, W. Nernst in Berlin, C. Pulfrich in Jena, M. v. Rohr in Jena, W. Sartorius in Göttingen, R. Steinheil in München, R. Straubel in Jena, E. Warburg in Berlin, F. Weidert in Berlin, A. Westphal in Berlin, E. Wiechert in Göttingen.

Schriftleitung: F. Göpel in Charlottenburg.

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

2. Heft: Februar.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1923.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 500,— für Monat Februar 1923 bezogen werden.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 360,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30 %	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsban -Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. D. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **Februar 1923.** Zweites Heft.

Über die mit dem Ausdruck „Dezimalgleichung“ bezeichnete Art von regelmäßigen Fehlern bei der Zehntelschätzung im Zentimeterfelde von Nivellierlatten.

Von
Karl Lüdemann in Freiberg i. S.

I. Das Problem.

Bei jedem Schätzungsvorgang, der die Bestimmung der Lage eines Zeigerstriches in einem Teilungsfeld oder innerhalb einer begrenzten Strecke zum Ziel hat, werden regelmäßige [systematische, einseitige] und unregelmäßige Fehler begangen. Der regelmäßige Fehler kann im Gegensatz zu dem unregelmäßigen durch Wiederholuug der Schätzung nicht ausgeschaltet oder vermindert werden, da er bei jeder neuen Beobachtung in derselben Größenordnung und mit demselben Vorzeichen wiederkehrt. Er besitzt in der Regel — wenigstens für eine gewisse Zeiteinheit — einen dem einzelnen Beobachter eigentümlichen Verlauf, kann aber auch für verschiedene Beobachter innerhalb gewisser Grenzen gleich und gleichgerichtet sein. Dementsprechend ist auch der Einfluß des regelmäßigen Fehlers auf das Beobachtungsergebnis je nachdem ein verschiedener, ob es gelingt, die persönliche Gleichung des einzelnen Beobachters festzustellen oder ihre Folgen auf anderem Wege auszuschalten, soweit das bei der Auswirkung physiologischer und psychologischer Einflüsse überhaupt möglich ist.

Es ist bekannt, daß bei der Schätzung von Zehnteln irgend welcher kleinen Raum-, Zeit- oder Helligkeitsgrößen und zwar auch bei Reihen, die eine sehr große Zahl von Beobachtungen desselben Beobachters umfassen, die einzelnen Zehntel nicht mit der gleichen Häufigkeit auftreten, daß vielmehr die zu erwartende Anzahl einiger Zehntel übergeschätzt, die der anderen Zehntel untergeschätzt wird. Der Beobachter hat also eine selbstverständlich unbewußte „Vorliebe“ für eine Gruppe von Zehnteln, die er den anderen gegenüber bevorzugt, „vorzieht“.

Unter einer „Unterschätzung“ wird eine unter dem Soll bleibende, unter einer „Überschätzung“ eine das Soll von $\frac{100}{1000}$ der Gesamtziffer der Beobachtungen überschreitende Anzahl der Beobachtungen eines bestimmten Zehntels verstanden. Es wird also ein gewisses Zehntel bei einer Unterschätzung zu wenig, bei einer Überschätzung zu viel geschätzt.

II. Die Methoden der Untersuchung.

Da man bei einer genügend großen Anzahl gleicher Beobachtungen desselben Beobachters, die zeitlich nahe beieinander liegen, voneinander unabhängig sind

und keine willkürliche Zehntelfolge bedingen, erwarten darf, daß jedem Intervallzehntel auch ein Zehntel der Gesamtsumme der Beobachtungen zukommt, ergibt sich ein umfangreiches statistisches Material aus Beobachtungsreihen, welche praktischen Messungen entstammen. Dieses Material ist für die Wissenschaften, welche Messungen ausführen, um so wertvoller, als es praktisch verwertbare Schlüsse erlaubt. Der Vorwurf, die praktische Messung biete keine Sicherheit dafür, daß in einer solchen Reihe von Messungsergebnissen nun auch wirklich jedes Zehntel gleich oft zur Schätzung vorgekommen, daß also die vermeintliche Regelmäßigkeit nicht ganz oder teilweise das Ergebnis von Zufälligkeiten wäre, ist nicht stichhaltig, denn es läßt sich dagegen mit Recht geltend machen, daß diese Vermutung der zufälligen Zehntelhäufung mit der wachsenden Zahl der Beobachtungen an Wahrscheinlichkeit abnimmt.

Dagegen hat die Psychologie als „reine" Psychologie recht, wenn sie gegenüber der statistischen Aufbereitung praktischer Messungen den Wert des Versuches so betont, wie es M. Bauch tut[1]) [1 S. 170—171]:

„Die experimentelle Untersuchung hat gegenüber der rein statistischen, wie sie in den älteren Arbeiten vorliegt, vor allem den Vorzug, daß bei jeder Schätzung auch der wirkliche Tatbestand bekannt ist, daß die zu schätzenden Größen in beliebiger Häufigkeit und Reihenfolge eingestellt werden können, ferner den Vorzug, daß andere Fehlerquellen ausgeschlossen werden können, die bei den Schätzungen an einem astronomischen Beobachtungsabend nicht zu vermeiden sind, und schließlich noch den Vorzug der Möglichkeit der Variation der Versuchsbedingungen."

Die Psychologie muß es sich aber dann gefallen lassen, daß ihre so gewonnenen Ergebnisse von der praktischen Meßkunst [Geodäsie, Astronomie usw.] als auf die Praxis nicht oder nur mit Vorbehalt übertragbar abgelehnt oder doch mit Zurückhaltung betrachtet werden. Ein Schulbeispiel bedeutet hierfür die Beurteilung der noch zu behandelnden Untersuchungen von M. Bauch [1] vom Standpunkt der Geodäten durch C. Müller [2], der sagt [2 S. 32—33]:

„Die experimentellen Untersuchungen von Bauch genügen nicht für Fehlerbetrachtungen, wie sie für feine Zehntel- und Zwanzigstelschätzungen in der Meßkunst notwendig sind."

III. Die bisher bekannten statistischen Aufbereitungen praktischer Beobachtungsreihen aus Astronomie, Meteorologie und Geodäsie.

1. Einen Abriß der Entwicklung der hier vorliegenden Frage hat M. Bauch [1 S. 171—175] im § 2 seiner Untersuchungen gegeben. Auch F. Cohn [3] hat einige Angaben gemacht [3 S. 250—251]. Es sollen hier daher nur kurz diejenigen Erörterungen von Forschern erwähnt werden, die für die unten folgenden Mitteilungen von Wert sind, und zwar in der Hauptsache unter Beschränkung auf die Schätzung kleiner Raumgrößen.

2. Seitdem J. Hartmann [4] im Jahre 1858 bei experimentellen Untersuchungen über seine persönliche Gleichung bei der Auge- und Ohrmethode diese für die einzelnen Zehntel der Sekunde veränderlich fand, ist die Erörterung dieser eigenartigen Erscheinung nicht mehr zur Ruhe gekommen.

Von F. Bouquet [5] und G. Lewitzky [6, 7] stammen wertvolle Reihen von Zehntelschätzungen bei Zeitsekunden.

[1]) In den eckigen Klammern bedeutet die erste Ziffer die betreffende Nummer in dem am Schluß gegebenen Verzeichnis der angezogenen Schriften.

F. Bouquet kam zu folgenden Schlußfolgerungen:

I. *Il existe une loi d'évaluation de chaque dixième, qui paraît sensiblement constante our un même observateur.*

II. *Cette loi varie d'un observateur à l'autre.*

G. Lewitzky [6] fügte aus einer vergleichenden Behandlung der Zahlen von F. Bouquet und 1868 eigenen Beobachtungen als dritte Schlußfolgerung hinzu:

III. Einige von den mittleren vier Zehnteln [0,4—0,7] werden von jedem Beobachter am seltensten notiert.

Er machte ferner darauf aufmerksam [7], daß N. Zinger [8] bereits 1871 „eine sehr bequeme und einfache Formel für die Bestimmung der systematischen Fehler aus der Anzahl der Beobachtungen jedes Zehntels in einer großen Reihe von Durchgängen gegeben hat.“

F. Gonnessiat [9, 10] beschäftigte sich ebenfalls mit den systematischen Fehlern bei Durchgangsbeobachtungen, gab eine Berechnungsweise für Verbesserungen für jede Zehntelsekunde an und prägte — wohl zuerst — den Ausdruck *équation décimale.* In Deutschland spricht man allgemein von der „Dezimalgleichung“.

3. Von größerer Bedeutung sind zwei Arbeiten von E. Großmann [11] und O. Meißner [12].

Die von E. Großmann mitgeteilten Ergebnisse von Abzählungen (Häufigkeitsziffern, d. h. Tausendstel der Gesamtsumme jeder Reihe) sind in Tafel 1 wiedergegeben, in der bedeutet

Σ_1 die Summe für die Zehntel 0 bis 4,
Σ_2 „ „ „ „ „ 5 „ 9.

Die größte Unterschätzung jeder Reihe ist kursiv, die größte Überschätzung halbfett abgedruckt.

Tafel 1.

Lfd. Nr.	Ablesung von	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ_1	Σ_2	Beobachter	Beobachtungen erstrecken sich auf
1	Mikroskoptrommel	140	**175**	106	94	84	*62*	79	63	65	132	599	401	A_1	2 Mon.
2	„	106	**247**	140	63	29	97	90	*27*	49	152	585	415	A_2	1 Mon.
3	„	119	**252**	95	74	32	69	84	*21*	55	199	572	428	A_3	2 Mon.
4	„	122	**225**	114	77	48	76	84	*37*	56	161	586	414	A	Mittel
5	„	132	*32*	**180**	114	108	79	63	116	94	82	566	434	B_1	3 Mon.
6	„	156	*22*	106	**168**	99	129	60	106	97	62	546	454	B_2	4 Mon
7	„	**144**	*27*	143	138,5	103,5	104	61,5	111	95,5	72	556	444	B	Mittel
8	„	147	69	95	70	**164**	71	112	*53*	152	67	545	455	C	2 Mon.
9	„	155	38	**180**	122	71	60	81	140	134	*19*	566	434	D_1	2 Jahre
10	„	119	45	**191**	129	78	52	89	123	142	*32*	562	438	D_2	2 Mon.
11	Libelle	**185**	83	125	118	60	*44*	71	112	114	88	571	429	D_3	2 Mon.
12		153	55	**166**	123	70	52	80	125	130	*46*	567	433	D	Mittel
13	Mikroskoptrommel	81	*51*	96	102	129	**171**	161	80	71	58	459	541	E	3 Mon.
14	Chronographenstreifen	67	*11*	202	82	159	78	90	97	184	30	521	479	F	2 Mon.
15		119	73	**186**	99	112	92	98	84	115	*72*	539	461	$A—F$	Ges.-Mittel

Zu der Tafel 1 ist noch zu bemerken, daß A, B und D je dieselben Beobachter sind, so daß eine Mittelbildung hierfür mit Vorbehalt berechtigt ist. Ferner

ist für alle sechs Beobachter das einfache Mittel — ohne Rücksicht auf die Anzahl — gebildet worden.

Die einzelnen Abzählungen „erstrecken sich auf weit über 1000“. „D_1 ist das Mittel aus über 5000 Beobachtungen und D_2 das Mittel aus 4 Abzählungen, die für jedes der vier Mikroskope gesondert ausgeführt wurden.“ Man darf also annehmen, daß für die Tafel 1 über 15000 Messungen verwendet worden sind. Zwischen A_1 und A_3 und A_2 und A_4 liegen etwa $1^1/_2$ Jahre, zwischen B_1 und B_2 fast 4 Jahre.

E. Großmann kommt zu folgendem Ergebnis:

„Ein allen Reihen gemeinsamer Charakter läßt sich nicht erkennen. Mehrfach wird die 0 und 2, zum Teil auch die 8 auffallend häufig geschätzt, so bei *B*, *C*, *D* und *F*, während 1 und 9 nur selten vorkommen, außer bei *A*, der gerade diese Zahlen bevorzugt, und zwar gegen die 7 und 4. *E* unterscheidet sich dadurch von den andern, daß er die mittleren Zehntel, besonders 5 und 6, häufig schätzt.

Zeitliche Änderungen des Schätzungsfehlers sind offenbar vorhanden, wie sich aus den Reihen von *A* und *B* ergibt.“

Der Raum verbietet es, die Dezimalgleichungen der Beobachter *A* bis *F* nach der Tafel 1 oder noch besser nach einer zeichnerischen Darstellung einzeln zu behandeln, obwohl das reizvoll wäre, denn gewisse Gegensätze — z. B. die Schätzungen der Zehntel 1 und 9 sowie 2 und 8 bei *F* — fordern dazu und zu einer Beurteilung der Eignung zu solchen Schätzungen geradezu heraus.

Ebenso muß wegen der Bemühungen von E. Großmann, „ein Urteil über die Größe und den Einfluß des Schätzungsfehlers zu gewinnen“, wegen seiner Erklärungsversuche für die Psychologie der Dezimalgleichung und wegen seiner Vorschläge, die Folgen der letzteren unschädlich zu machen, auf die beachtenswerte Arbeit selbst verwiesen werden.

4. Sehr wertvolles Material hat O. Meißner [12] bearbeitet.

Die Zeitschätzungen sollen außer Betracht bleiben.

Die Raumschätzungen sind außer Schätzungen von Zwanzigsteln von Einheiten von Libellenteilungen, die hier ebenfalls nicht behandelt werden können, auf die ich aber bei anderer Gelegenheit demnächst zurückkommen werde[1]), 12590 Schätzungen von Ordinaten der Mitte einer photographisch aufgezeichneten, bis 0,5 mm breiten Kurve mit Hilfe eines Millimetermaßstabes. Die Zahlen gibt Tafel 2.

Tafel 2.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Häufigkeitsziffer	2534	1365	1103	855	822	1490	899	893	1262	1367
„ „ v. T. .	201	108	88	68	66	118	71	71	100	109
Unsicherheit v. T. .	5,4	4,9	2,8	2,6	3,2	3,9	3,0	2,6	3,0	3,7
Dispersion	1,6	1,5	0,8	1,0	1,3	1,1	1,2	1,0	1,0	1,2

Zur Charakterisierung der verarbeiteten Beobachtungen hat O. Meißner die einzelnen Schätzungen in Gruppen von je 200 zusammengefaßt und auf Grund ihrer Abweichungen λ vom Mittelwert die „Unsicherheit“ aus

$$\sqrt{\frac{[\lambda\lambda]}{n(n-1)}}$$

(n = Zahl der Beobachtungen) berechnet.

---

[1]) Es muß als nicht zulässig bezeichnet werden, wenn M. Bauch [1 S. 203] aus der Reihe dieser Zwanzigstelschätzungen die auf die Zehntel fallenden Schätzungen unter Nichtbeachtung der Zwanzigstel herauszieht und sie als reine Zehntelschätzungen mit seinen eigenen vergleicht.

Es ist ferner die Dispersion, d. h. die Verteilung der einzelnen Werte um einen Mittelwert, berechnet worden[1]). „Der Begriff der Dispersion und ihre Unterscheidung in normale, unternormale und übernormale rührt von W. Lexis [14 S. 22] her" [13 S. 131]. Hier sei nur erwähnt, daß man von normaler Dispersion spricht, wenn der Quotient[2]) zweier in bestimmter Weise errechneter Ausdrücke der Präzision sich von der Einheit nur wenig unterscheidet.

Die „Unsicherheit" der Werte der Tafel 2 ist ziemlich klein, die „Dispersion" mit Ausnahme bei 0 und 1, wo sie übernormal ist, ziemlich durchweg normal.

Ordnet man die Zehntel nach der Häufigkeit, so ergibt sich die Folge:

4 3 7 6 2 8 1 9 5 0

Wenn O. Meißner aus den Ergebnissen seiner wertvollen Arbeit folgert: „Wo man Unterteile messen kann, soll man sie messen und nicht schätzen", so gilt das natürlich nur begrenzt, denn die Zehntelschätzung hat in der Meßkunst eine große Berechtigung. Und „im allgemeinen werden ja diese von den systematischen Schätzungsfehlern herrührenden Ungenauigkeiten belanglos sein" [12 Sp. 144].

5. Mit der Dezimalgleichung hat sich ferner J. Plaßmann eingehend beschäftigt [17 bis 20 und 42][3]). An Raumschätzungen liegen vor:

a) 2170 in den Jahren 1910—1913 ausgeführte Schätzungen mit dem von Busch und Jensen [21 S. 292 bis 294] angegebenen Pendelquadranten und zwar in einer 1,9 mm großen Teilungseinheit. Es fand sich [17 S. 6]:

Zehntelfolge	5	0	1	3	6	7	8	2	4	9
Häufigkeitsziffer	61	64	91	106	108	108	112	112	117	121

b) 332 in $3^1/_2$ Monaten ausgeführte Thermometerablesungen. Hier fand sich [17 S. 7]:

Zehntelfolge	9	0	1	5	3	6	7	8	4	2
Häufigkeitsziffer	45	51	72	81	87	93	109	136	145	181

Bei seinen zahlreichen [3335], in den Jahren 1904 bis 1918 erhaltenen Zeitschätzungen glaubt J. Plaßmann feststellen zu müssen, daß „alle geraden Ziffern eine säkulare Abnahme, alle ungeraden eine säkulare Zunahme zeigen. Der dezimale Fehler nimmt also im ganzen ab" [18 S. 68]. An einer deutlich wahrnehmbaren säkularen Veränderlichkeit der Dezimalgleichung ist jedenfalls nicht zu zweifeln [19 Sp. 407 bis 408; ferner 20 und 42].

6. Aus dem Gebiet der Astronomie ist noch zu erwähnen, daß S. Albrecht [22] aus einer umfangreichen Untersuchung der Zehntelschätzungen von 16 Beobachtern an der Dudley-Sternwarte zu folgendem Ergebnis gekommen ist: „Die persönlichen Skalen verschiedener Beobachter sind sehr verschieden, während sie für einen einzelnen über längere Zeiträume hin merklich konstant bleiben. Ermüdung scheint sie nicht merklich zu beeinflussen" [23 S. 66]. Zahlenangaben sind mir aus der Untersuchung von S. Albrecht leider ebensowenig bekannt geworden wie aus derjenigen von F. Bouquet, der im 19. Jahrgang von *L'année psychologique* [Paris 1918] S. 27 Unterlagen für die Zehntelbevorzugung zusammenstellt und deren psychologische Untersuchung fordert [24 S. 246. Anm. 2].

---

[1]) Wegen des Begriffes der Dispersion siehe [13 S. 111, 131 und besonders S. 311—333].

[2]) Man nennt diesen Quotienten „Fehlerrelation" nach L. v. Bortkewitsch [15 S. 31] und „Divergenzkoeffizient" nach E. Dormoy [16 S. 39].

[3]) Weitere Schriften von J. Plaßmann finden sich angegeben [17 S. 1. Anm. 1].

Beide Schriften waren mir nicht zugänglich, wie das heutzutage ja leider bei ausländischen Zeitschriften die Regel ist.

7. Auch die schärfste Selbstkritik des erfahrensten Beobachters kann die Dezimalgleichung nicht ausschalten. Es ist auch nicht gesagt, daß das Verhältnis der Häufigkeitsziffern zueinander durch Beobachtungserfahrung verbessert werden muß. Andererseits besteht eine gewisse Wahrscheinlichkeit, daß ungeübte oder für ihre Aufgabe schlecht vorgebildete Beobachter leichter geneigt sind, ihre Vorliebe für das eine oder das andere Zehntel zu betätigen, als geübte oder besser vorgebildete. Kommen viele derartige Beobachter zusammen, wie es z. B. bei den meteorologischen Beobachtungsstationen der Fall ist, so besteht in dieser Hinsicht eine gewisse Gefahr, der man unter Umständen durch eine Änderung der Instrumente, die die erforderliche Genauigkeit an sich gewährleistet, entgegentreten muß. Allgemein wird man aber dem folgenden, von W. Schmidt [25] für meteorologische Beobachtungen ausgesprochenen Satz [S. 170]:

„In einer Häufigkeitsauszählung der letzten Ziffern einer größeren Anzahl [von Beobachtungen] hat man ein gewisses Maß für die Sorgfalt und Zuverlässigkeit der Ablesungen; kein absolutes, denn gegenüber systematisch einseitiger Verschiebung, wechselnden Einflüssen und geschickter Fälschung muß es versagen" nur eine bedingte Geltung zuweisen dürfen.

W. Schmidt bemüht sich, im Nachgang zu G. Hellmann [26], aus einer Häufigkeitsauszählung der letzten Ziffern ein Genauigkeitsmaß zu finden, das Beobachter und Instrument charakterisiert. Seine Vorschläge sind natürlich nicht in der Lage, den Einfluß der Dezimalgleichung des Beobachters auf die einzelne Beobachtung zahlenmäßig durch Verbesserung auszuschalten, verfolgen auch gar nicht diese Absicht, führen aber zu Ergebnissen, die für die Meteorologie wertvoll sind.

8. Die bereits genannte Arbeit von G. Hellmann [26] über psychologisch bedingte Fehler bei meteorologischen Beobachtungen ist von M. Bauch [27] zu einem Vergleich mit seinen experimentellen Feststellungen über die Dezimalgleichung benutzt worden. Man kann über die Zulässigkeit dieser Vergleichung sehr verschiedener Ansicht sein. Immerhin mag das Endergebnis mit den Werten von M. Bauch [27 S. 252] hier mitgeteilt sein:

„Die Vergleichung der Ergebnisse aus den statistischen Zusammenstellungen der meteorologischen Praxis mit meinen Ergebnissen bietet weitere Belege für die von mir experimentell ermittelte Bevorzugung der Randzehntel vor den Mittelzehnteln und bietet weitere Stützen für meine Erklärung dieses Phänomens aus der größeren Aufmerksamkeitsbetonung der in den Skalen irgendwie ausgezeichneten Punkte."

9. Im Arbeitsgebiet der Geodäsie habe ich [28] mich mit der Dezimalgleichung beschäftigt und 10139 Zehntelschätzungen aufgearbeitet.

Die Beobachtungen sind an einer Kreisteilung gewonnen, die auf einer matt versilberten Kegelfläche als Kantenteilung aufgetragen ist. Der Kreis hatte einen Durchmesser von 85 mm. Die Kreisteilung ging auf 1^0; ein Grad hatte also eine Größe von 0,74 mm. Die Ablesung geschah mit einer aus nur einer Linse bestehenden einfachen Lupe von zweifacher Vergrößerung, die an einem Arm drehbar befestigt war. Das Gradintervall erschien somit 1,48 mm groß.

Die Schätzungsstelle wurde durch einen einfachen Zeigerstrich angegeben, der auf einer an der Kantenteilung entlang gleitenden matt versilberten Alhidade aufgetragen war.

Die Teilstriche der Kreisteilung und der Indexstrich waren schwarz ausgefüllt und genau gleich stark. Ihre Stärke entsprach $^1/_{10}$ Intervall [wirklich 0,07 mm, in der Ablesung scheinbar 0,15 mm], so daß das freie Intervall 0,67 mm groß war und durch die Lupe 1,33 mm groß erschien. Der Indexstrich stieß stumpf auf die Kantenteilung.

Zu schätzen war also eine durch zwei Teilstriche begrenzte Linie, die durch das Ende des Zeigerstriches in zwei Teile geteilt war, sofern nicht der Zeiger die Nullstellung einnahm. Eine weitergehende Schätzung als auf $^1/_{10}$ Intervall war nicht möglich.

Die grundlegenden Schätzungen wurden durchweg unter gleichen äußeren Verhältnissen bei praktischen Messungen ausgeführt. Sie verteilen sich auf die Zeit von 13 Monaten und zerlegen sich durch zeitliche Grenzen von selbst in neun Reihen von verschiedener Anzahl der Beobachtungen. Ihrer Entstehung nach sind sie so gleichartig und gleichwertig, daß es gerechtfertigt ist, sie in einer Gesamtsumme zusammenzufassen.

Die Ergebnisse sind in den Tafeln 3 und 4 verzeichnet. Tafel 3 gibt die bei der Auszählung gefundenen Ziffern, Tafel 4 die Häufigkeitsziffern, ausgedrückt in Tausendsteln der betreffenden einzelnen Reihensummen.

Tafel 3.

Reihe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	zusammen
1	130	60	59	67	89	35	66	58	81	81	130	726
2	117	63	68	52	126	35	78	46	77	80	117	742
3	189	112	94	81	149	56	93	68	98	109	189	1049
4	123	69	59	56	89	50	50	47	61	83	123	687
5	156	73	117	97	114	59	52	69	69	102	156	908
6	155	84	85	80	133	43	94	63	96	116	155	949
7	183	110	96	91	130	64	81	91	103	109	188	1063
8	143	72	94	79	111	49	62	71	69	102	143	852
9	213	122	109	89	161	70	103	74	107	115	213	1163
Summe	1414	765	781	692	1102	461	679	587	761	897	1414	8139 Reihe I

Tafel 4.

Reihe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	179	82	81	92	123	48	91	80	112	112	179
2	158	85	91	70	170	47	105	62	104	108	158
3	180	107	90	77	142	53	89	65	93	104	180
4	179	100	86	81	130	73	73	68	89	121	179
5	172	80	129	107	126	65	57	76	76	112	172
6	163	89	90	84	140	45	99	67	101	122	163
7	177	103	90	86	122	60	76	86	97	103	177
8	168	84	110	93	130	58	73	83	81	120	168
9	183	105	94	76	138	60	89	64	92	99	183
Insgesamt	174	94	96	85	135	57	83	72	94	110	174 Reihe I

Man erhält die nachstehende Zehntelfolge, geordnet nach der aufsteigenden Häufigkeitsziffer:

Zehntel	5	7	6	3	1	8	2	9	4	0
Häufigkeitsziffer	57	72	83	85	94	94	96	110	135	174

Nimmt man an, daß jedem Zehntel die Soll-Häufigkeitsziffer 100, d. h. 100 vom Tausend der Gesamtsumme der betreffenden Reihe, zukommt, und bezeichnet man

eine Überschätzung mit +, eine Unterschätzung mit —, so kann man die Zehntelfolge auch schreiben:

Zehntel	5	7	6	3	1	8	2	9	4	0
Überschätzung +								10	35	74
Unterschätzung —	43	28	17	15	6	6	4			

In gleicher Weise kann man natürlich auch die Tafel 4 zur Darstellung der Über- und Unterschätzungen aufmachen, wie es in der Tafel 5 geschehen ist, und sich so ein klares Bild von der im wesentlichen unveränderten Erhaltung der Dezimalgleichung machen.

Tafel 5.

Reihe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	+ 79	− 18	− 19	− 8	+ 23	− 52	− 9	− 20	+ 12	+ 12	+ 79
2	+ 58	− 15	− 9	− 30	+ 70	− 53	+ 5	− 38	+ 4	+ 8	+ 58
3	+ 80	+ 7	− 10	− 23	+ 42	− 47	− 11	− 35	− 7	+ 4	+ 80
4	+ 79	± 0	− 14	− 19	+ 30	− 27	− 27	− 32	− 11	+ 21	+ 79
5	+ 72	− 20	+ 29	+ 7	+ 26	− 35	− 43	− 24	− 24	+ 12	+ 72
6	+ 63	− 11	− 10	− 16	+ 40	− 55	− 1	− 33	+ 1	+ 22	+ 63
7	+ 77	+ 3	− 10	− 14	+ 22	− 40	− 24	− 14	− 3	+ 3	+ 77
8	+ 68	− 16	+ 10	− 7	+ 30	− 42	− 27	− 17	− 19	+ 20	+ 68
9	+ 83	+ 5	− 6	− 24	+ 38	− 40	− 11	− 36	− 8	− 1	+ 83
Insges.	+ 74	− 6	− 4	− 15	+ 35	− 43	− 17	− 28	− 6	+ 10	+ 74

Einen Maßstab für die Schwankungen der Werte der Reihen 1 bis 9 kann man dadurch erhalten, daß man die einzelnen Werte mit denen der Reihe I vergleicht, d. h. für jedes Zehntel und für jede Reihe

$$d = R_I - R_i$$

bildet. Das ist in der Tafel 6 geschehen.

Tafel 6.

Reihe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	− 5	+ 12	+ 15	− 7	+ 12	+ 9	− 8	− 8	− 18	− 2	− 5
2	+ 16	+ 9	+ 5	+ 15	− 35	+ 10	− 22	+ 10	− 10	+ 2	− 16
3	− 6	− 13	+ 6	+ 8	− 7	+ 4	− 6	+ 7	+ 1	+ 6	− 6
4	− 5	− 6	+ 10	+ 4	+ 5	− 16	+ 10	+ 4	+ 5	− 11	− 5
5	+ 2	+ 14	− 33	− 22	+ 9	− 8	+ 26	− 4	+ 18	− 2	+ 2
6	+ 11	+ 5	+ 6	+ 1	− 5	+ 12	− 16	+ 5	− 7	− 12	+ 11
7	− 3	9	− 6	− 1	+ 13	− 3	+ 7	− 14	− 3	+ 7	− 3
8	+ 6	+ 10	− 14	− 8	+ 5	− 1	+ 10	− 11	+ 13	− 10	+ 6
9	− 9	− 11	+ 2	+ 9	− 3	− 3	− 6	+ 8	+ 2	+ 11	− 9
[+ *d*]	+ 35	+ 50	+ 50	+ 37	+ 44	+ 35	+ 53	+ 34	+ 39	+ 26	+ 35
[− *d*]	− 28	− 39	− 47	− 38	− 50	− 31	− 58	− 37	− 38	− 37	− 28
m	± 8,1	10,3	13,9	10,5	14,0	8,7	14,1	8,5	10,6	8,0	8,1

Betrachtet man die Werte *d* für irgendein Zehntel, so sieht man, daß sie im wesentlichen allenthalben in denselben Grenzen schwanken, die nur von einigen ganz wenigen überschritten werden. Diese außergewöhnlich großen *d* können ihre Ursache finden in einer die Regelmäßigkeit der Schätzungsfehler überdeckenden zufälligen Häufung dieses Zehntels und in einer gerade diesem Zehntel bei der Schätzung eigentümlichen Unsicherheit des Beobachters.

Einen Genauigkeitswert m kann man leicht aus der Beziehung

$$m = \sqrt{\frac{[dd]}{n}}$$

errechnen, worin n die Anzahl der Reihen, hier also 9 ist. Hierbei sind die einzelnen Reihen als in ihrer Summe je gleich groß, also gleichgewichtig angenommen worden. Die errechneten Werte für m, denen keine andere Bedeutung als die angegebene beigelegt werden soll, sind auch in der Tafel 6 gegeben.

Um festzustellen, ob die in der Reihe I ausgeprägte Regelmäßigkeit sich auch bei Beobachtungsreihen wiederfindet, bei denen — nicht für praktische Messungen — die Schätzungen mit der größten Sorgfalt unter den günstigsten äußeren Verhältnissen für die Ablesung ausgeführt werden, hat derselbe Beobachter L. noch fünf Reihen von je 200 Schätzungen durchgeführt. Derselbe Kreis wurde hierbei willkürlich unter besonderer Vermeidung jeder Regelmäßigkeit für jede Ablesung verstellt. Immerhin ist bei der verhältnismäßig kleinen Zahl von nur 200 zu einer Reihe zusammengefaßten Beobachtungen die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Zehntelhäufung größer als bei den bislang behandelten Reihen. Die Ausführung der einzelnen Ablesungsreihen 1 bis 5 war eine zeitlich getrennte.

Das Beobachtungsmaterial ist ebenso bearbeitet, wie bisher, es sollen hier jedoch nur die Werte für die Gesamtsumme von 1000 Beobachtungen, die als Reihe II bezeichnet wird, mitgeteilt werden.

Es fand sich die nachstehende Folge der Zehntel, geordnet nach der aufsteigenden Häufigkeitsziffer:

Zehntel	5	7	6	3	8	1	2	9	4	0
Häufigkeitsziffer	50	75	84	89	93	97	97	106	135	174

oder geordnet nach Über- und Unterschätzungen:

Zehntel	5	7	6	3	8	1	2	9	4	0
Überschätzung +								6	35	74
Unterschätzung —	50	25	16	11	7	3	3			

Vergleicht man die Reihen I und II zahlenmäßig oder zeichnerisch, wie es in der Fig. 1 geschehen ist, in der die vollausgezogene Linie die Reihe I, die gepunktete die Reihe II bedeutet, so zeigt sich eine sehr enge Übereinstimmung. Die nach der Häufigkeitsziffer geordneten Reihenfolgen der Zehntel stimmen bis auf die Zehntel 1 und 8, welche die Plätze gewechselt haben, überein. Und auch die Häufigkeitsziffern zeigen keine beachtenswerten Unterschiede; sie weichen nirgends mehr als 7 Einheiten (v. T. der Summe) voneinander ab.

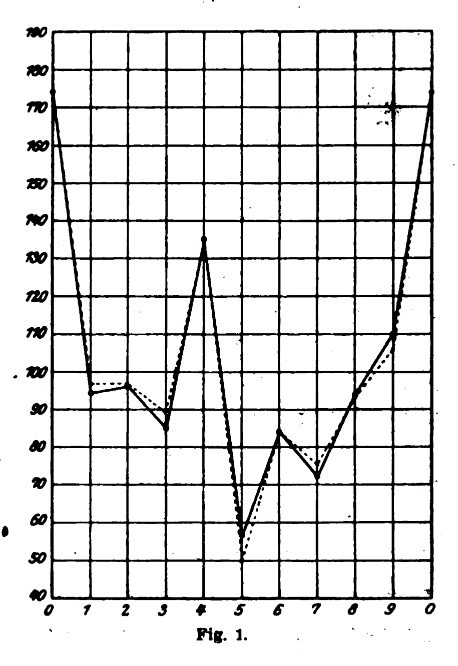


Fig. 1.

Die Regelmäßigkeit der Über- und Unterschätzungen hebt sich scharf heraus. Es liegt kein Verdacht dafür vor, daß der eingangs erwähnte angebliche Mangel bei Ergebnissen, die, aus praktischen Beobachtungen gewonnen sind, sich irgendwie in bedeutender Weise bemerkbar gemacht hat.

Die Regelmäßigkeit prägt sich darin aus, daß die Zehntel

0 4 9

übergeschätzt, die Zehntel

1 2 3 5 6 7 8

untergeschätzt werden. Die stärkste Überschätzung findet bei 0 statt, wo sie fast genau $^3/_4$ des Sollbetrages (100 Einheiten) erreicht. Die 4 wird um $^1/_3$, die 9 um höchstens $^1/_{10}$ des Sollbetrages übergeschätzt.

Den drei übergeschätzten Zehnteln stehen sieben untergeschätzte gegenüber, von denen die Zehntel 1, 2 und 8 in ihrer Häufigkeitsziffer sich von dem Sollwert nicht allzu weit entfernen. Die Zehntel 6 und 3 erleiden annähernd dieselbe Vernachlässigung beim Ablesen, die sich bei der 7 zu $^1/_4$ des Sollbetrages steigert. Besonders groß ist schließlich die Unterschätzung der 5: bei der Feststellung der Halbierung des Intervalls beträgt der regelmäßige Fehler 43% und 50% des Sollbetrages.

Trennt man die Zehntel in die äußern

0 1 2 8 9

und die inneren

3 4 5 6 7,

so erhält man für deren Summen die Zahlen 568 für äußere, 432 für innere Zehntel bei Reihe I, 567 für äußere, 433 für innere Zehntel bei Reihe II.

Die Fig. 1 zeigt, daß die Gesamtkurve ziemlich regelmäßig verlaufen würde, wenn nicht der untergeschätzten 5 eine stark übergeschätzte 4 gegenüberstände. Tatsächlich ergibt allerdings die Summe der Zehntel 4 und 5 in der ersten Reihe 192, in der zweiten 185.

Die Regelmäßigkeit der Fehler läßt sich schwer begründen. Die Unterschätzung der 5 erklärt sich vielleicht, wenn auch nur teilweise, durch die bei der Hälftelung mögliche Vergleichung von zwei genau gleich großen Strecken. Auch der sorgfältige Beobachter wird durch kleine Unterschiede, die weniger als $^1/_{20}$ Intervall betragen, leicht bewogen werden, von der Schätzung $^5/_{10}$ abzusehen und $^4/_{10}$ oder $^6/_{10}$ dafür zu wählen. Eigentümlich ist die nicht gleichmäßige Berücksichtigung der Zehntel 4 und 6 und die einseitige Bevorzugung des Zehntels 4.

Die Überschätzung der 0 mag vielleicht durch die Stärke der Teilstriche und des Zeigerstriches ($^1/_{10}$ Intervall), wenn auch nicht hervorgerufen, so doch beeinflußt worden sein. Es ist zu beachten, daß die Mitte des $^1/_{10}$ Intervall breiten Zeigerstriches die richtige Ablesungsstelle angibt.

Um festzustellen, ob ein anderer geübter Beobachter bei denselben Beobachtungen dieselben oder andersgeartete regelmäßige Fehler begeht, wurden in genau gleicher Weise wie bei der Erzielung der zweiten Reihe fünf Reihen von je 200 Beobachtungen, zeitlich voneinander getrennt, durch einen zweiten Beobachter M. ausgeführt. Der Zweck der Beobachtungen war dem Beobachter unbekannt, so daß er unbeeinflußt war.

Das Beobachtungsmaterial ist ebenso bearbeitet wie bisher, die Gesamtsumme für die 1000 Beobachtungen ist als Reihe III bezeichnet.

Die Reihe III zeigt die nachstehende Folge der Zehntel, geordnet nach der aufsteigenden Häufigkeitsziffer:

Zehntel	6	5	4	0	3	1	2	7	9	8
Häufigkeitsziffer	52	55	68	104	107	109	114	121	132	138

Oder geordnet nach Über- und Unterschätzungen:

Zehntel	6	5	4	0	3	1	2	7	9	8
Überschätzung +				4	7	9	14	21	32	38
Unterschätzung —	48	45	32							

Zeichnerisch dargestellt ist die Reihe III in der Fig. 2. Die ziemlich regelmäßig verlaufende Dezimalgleichung des Beobachters M. ist wesentlich anders geartet wie die des Beobachters L.; sie ist in den fünf Reihen zu je 200 Beobachtungen ziemlich konstant.

Eine Zusammenstellung der Zehntelfolgen ist in der Tafel 7 gegeben.

Tafel 7.

Reihe I	Zehntel	5	7	6	3	1	8	2	9	4	0
	Häufigkeitsziffer	57	72	83	85	94	94	96	110	135	174
Reihe II	Zehntel	5	7	6	3	8	1	2	9	4	0
	Häufigkeitsziffer	50	75	84	89	93	97	97	106	135	174
Reihe III	Zehntel	6	5	4	0	3	1	2	7	9	8
	Häufigkeitsziffer	52	55	68	104	107	109	114	121	132	138

10. Bei der Bearbeitung der von ihm angestellten Beobachtungen zur Ermittelung des Ablesefehlers bei Benutzung von Strich- und Skalenmikroskopen, wie sie an Theodoliten verwendet werden, hat E. Fox [29] den „einseitigen" und den unregelmäßigen Ablese- bzw. Schätzungsfehler getrennt bestimmt. Auf Grund der Ergebnisse seiner Berechnungen schlägt er vor [29 S. 2], „die einseitigen Fehler aus dem Mittel der beiden Zeigerlesungen dadurch auszuschalten, daß man die beiden Mikroskope um die Hälfte des Intervalls aus der diametralen Stellung verschiebt", ein Verfahren, das dem Grundgedanken der Wendelatte entspricht, früher schon von Ch. A. Vogler angegeben ist und bei der Größe des regelmäßigen Anteils am gesamten Schätzungsfehler zweifellos wertvoll ist.

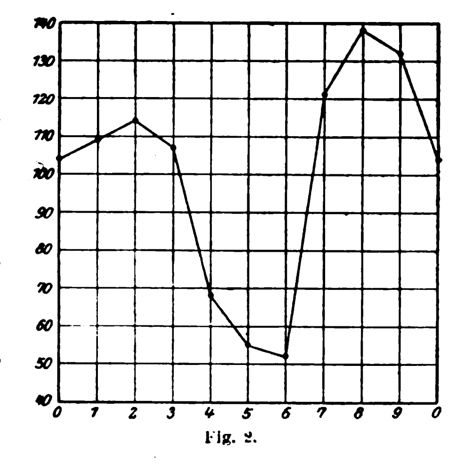


Fig. 2.

Im Anschluß an meine obengenannte Mitteilung [28] hat E. Fox 1215 Schätzungen von Zwanzigsteln eines Intervalls von 0,6 mm scheinbarer Größe (Skalenmikroskop) eines Beobachters A und 957 gleiche Beobachtungen eines Beobachters B mitgeteilt.

Bei Beobachter A läßt sich eine gewisse zu 0,5 systematische Gesetzmäßigkeit erkennen. Die Minima der Schätzungen liegen bei $^1/_2$, $^1/_4$ und $^3/_4$.

Beobachter B ist im Schätzen von Zwanzigsteln nicht sicher; er bevorzugt Zehntel. Zum Erkennen einer Gesetzmäßigkeit reichen die Unterlagen nicht aus.

IV. Statistische Aufbereitung von Zehntelschätzungen im Zentimeterfelde von Nivellierlatten.

1. Das Schrifttum über den Schätzungsfehler m_a bei Zehntelschätzungen im Zentimeterfelde von Nivellierlatten ist ziemlich umfangreich. Eine vorzügliche Übersicht

darüber, der wertvolle eigene Untersuchungen auf benachbartem Gebiet hinzugefügt sind, gibt C. Müller [2].

C. Reinhertz [30], der umfangreiche eigene Beobachtungen angestellt hat, aber auch die Untersuchungen anderer Forscher, besonders die von A. W. Volkmann [31] bearbeiteten, hat auch $^1/_{20}$ Intervall geschätzt, zog aber bei seiner Erörterung der Beziehung zwischen Größe des Schätzungsfehlers und Intervallstelle zusammen auf

0
0,1 und 0,9
0,25 und 0,75
0,5.

Mit der Beziehung des Schätzungsfehlers zur Intervallstelle beschäftigte sich ferner G. Kummer in seinen gründlichen Untersuchungen über die Genauigkeit der Abschätzung mit einem Nivellierfernrohr [32] und an Kartierungsmaßstäben [33], bei denen er den einseitigen (regelmäßigen, periodischen, systematischen) Fehler von dem vollständigen (totalen) abtrennte. Er stellte den einseitigen Fehler in bekannter Weise dar als eine Funktion der zugehörigen Intervallstelle φ von der Form

$$f(\varphi) = a_0 + a_1 \sin\varphi + b_1 \cos\varphi + a_2 \sin 2\varphi + b_2 \cos 2\varphi + \ldots\ldots$$

Die Koeffizienten sind aus den Beobachtungen zu errechnen, wobei es natürlich gleichgültig ist, ob Zehntel- oder Zwanzigstel-Schätzungen vorliegen.

Der einseitige Schätzungsfehler wird im wesentlichen bestimmt durch die Größe des Intervalls, die Zielweite, die Fadenstärke und die Intervallstelle [32 S. 243], dann aber auch durch die Dezimalgleichung, die G. Kummer allerdings nicht besonders behandelt.

Betrachtet man den einseitigen Fehler in seiner Gesamtheit, so verschwindet er erfahrungsgemäß bei 0,00 bzw. 1,00 und auch bei 0,50 und besitzt ein Maximum bei 0,25, ein Minimum bei 0,75 [30, 32, 33]. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, ihn durch Benutzung der von Chr. A. Vogler schon vor einem halben Jahrhundert vorgeschlagenen bzw. verwendeten Wendelatte mit gegeneinander um ein halbes Feld verschobenen Teilungen oder durch Anwendung von 3 Fäden passenden Abstandes (bei konstanter Zielweite) oder beliebigen Abstandes (bei passender Zielweite) wenigstens zu einem erheblichen Teil zu tilgen. Die Folgen der Dezimalgleichung lassen sich dadurch aber nur in Ausnahmefällen beseitigen.

Übrigens schaltet die Einstellung auf die Mitte eines Intervalls einseitige Fehler durchaus nicht etwa aus, wie aus den Untersuchungen von P. Labitzke [34—36] hervorgeht[1]). Und aus einer Untersuchung von Holm [37] scheint mir zu schließen zu sein, daß auch beim Ablesen des Standes der Libellenblase bzw. bei der Beobachtung ihres Einspielens nicht nur physische Augenfehler einseitige Fehler bewirken, sondern daß man auch hier mit psychologischen Fehlereinflüssen zu rechnen hat.

2. Die im Folgenden mitgeteilten Beobachtungsreihen stammen aus vier Feineinwägungen, die sämtlich von dem Beobachter L mit einspielender Libelle ausgeführt worden sind. Sie sind mit A_1, B_1, B_2, B_3, die Summe der drei letzten mit B, die Summe von allen vier Reihen mit M bezeichnet.

Alle Beobachtungen sind Zehntelschätzungen im Zentimeterfeld, die mit Hilfe

---

[1]) Auf die Bedeutung dieses Fehlers für manche Arbeiten der Geodäsie weist A. Noetzli [46 S. 82—89] auf Grund eigener Beobachtungen hin.

von zwei Nivellierinstrumenten der Firma Max Hildebrand in Freiberg i. Sa. gemacht wurden.

Die erforderlichen Angaben über die Instrumente, die mittlere Zielweite, die scheinbare Intervallgröße, die Genauigkeit der Messungen und den zeitlichen Abstand der Reihen von einander gibt Tafel 8.

Tafel 8.

Lfd. Nr.			A	B_1	B_2	B_3	Rem.
1	Öffnung des Objektivs	mm	36	32	32	32	34
2	Brennweite des Objektivs . . .	mm	400	360	360	360	325
3	Brennweite des Okulars	mm	11,3	11,3	11,3	11,3	11,0
4	Vergrößerung des Okulars		22	22	22	22	23
5	Gesamtvergrößerung des Fernrohrs . .		35,4	31,9	31,9	31,9	29,5
6	Austrittspupille . . . . ∅	mm	1,02	1,00	1,00	1,00	1,15
7	Mittlere Zielweite	m	45	28	27	26	25
8	Scheinbare Intervallgröße . . .	mm	2,0	2,8	3,0	3,1	3,0
9	Mittl. Kilometerfehler (hin u. her)	mm	±2,4	1,2	1,4	1,6	(1,5)
10	Beobachtungen später als A . .	Jahr	—	5,2	6,2	6,4	—

In der Tafel 9 sind zunächst die Auszählungen der einzelnen Zehntel angegeben. Tafel 10 gibt die Häufigkeitsziffern, ausgedrückt in Tausendstel der Gesamtsumme der Beobachtungen der betreffenden Reihe.

Tafel 9.

Reihe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ	Σ_r	Σ_m
A	485	503	539	559	489	412	451	557	592	477	485	5064	2596	2468
B_1	244	196	178	232	284	175	219	200	244	222	244	2194	1084	1110
B_2	213	199	160	216	218	171	203	175	201	214	213	1970	987	983
B_3	272	296	249	288	265	224	306	286	251	267	272	2704	1335	1369
B	729	691	587	736	767	570	728	661	696	703	729	6868	3406	3462
M	1214	1194	1126	1295	1256	982	1179	1218	1288	1180	1214	11932	6002	5930

Tafel 10.

Reihe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ	Σ_r	Σ_m
A	96	99	106	111	97	81	89	110	117	94	96	1000	512	488
B_1	111	89	81	106	130	80	100	91	111	101	111	1000	493	507
B_2	108	101	81	110	111	87	103	89	102	108	108	1000	500	500
B_3	101	109	92	106	98	83	113	106	93	99	101	1000	494	506
B	106	101	86	107	112	83	106	96	101	102	106	1000	496	504
M	102	100	94	109	105	82	99	102	108	99	102	1000	503	497

Aus der Tafel 10 ergibt sich für jede Reihe, wenn man die Ordnung nach aufsteigender Häufigkeitsziffer zu Grunde legt, eine bestimmte Zehntelfolge, die in der Tafel 11 nachgewiesen ist.

Tafel 11.

A	Zehntel	5	6	9	0	4	1	2	7	3	8
	Häufigkeitsziffer	81	89	94	96	97	99	106	110	111	117
B_1	Zehntel	5	2	1	7	6	9	3	8	0	4
	Häufigkeitsziffer	80	81	89	91	100	101	106	111	111	130
B_2	Zehntel	2	5	7	1	8	6	0	9	3	4
	Häufigkeitsziffer	81	87	89	101	102	103	108	108	110	111
B_3	Zehntel	5	2	8	4	9	0	7	3	1	6
	Häufigkeitsziffer	83	92	93	98	99	101	106	106	109	113
B	Zehntel	5	2	7	1	8	9	6	0	3	4
	Häufigkeitsziffer	83	86	96	101	101	102	106	106	107	112
M	Zehntel	5	2	6	9	1	0	7	4	8	3
	Häufigkeitsziffer	82	94	99	99	100	102	102	105	108	109

Betrachtet man die Tafeln 10 und 11 oder besser eine zeichnerische Darstellung davon (Fig. 3), so zeigt sich zunächst in den Reihen B_1, B_2 und B_3 eine ziemlich ausgedehnte Übereinstimmung, so daß die Zusammenfassung dieser drei Reihen in B gerechtfertigt erscheint.

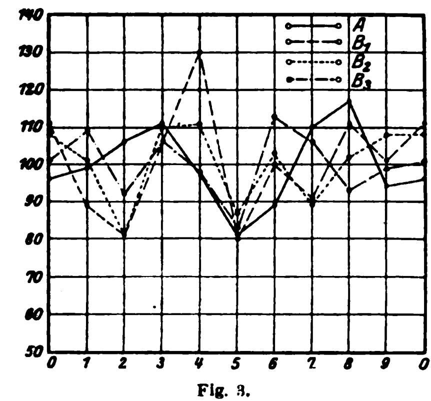


Fig. 3.

Vergleicht man dann weiter die Reihen A und B miteinander, so findet man, daß sich in der Auffassung der Intervallhälfte trotz der dazwischenliegenden 5 Jahre nur wenig geändert hat, daß der Beobachter bei B aber die Intervallviertel etwas anders schätzt als vor 5 Jahren.

Betrachtet man die Zusammenstellung in M als Gesamtausdruck für die Dezimalgleichung des Beobachters und schreibt die Zehntelfolge so:

Zehntel	5	2	6	9	1	0	7	4	8	3
Überschätzung +					+0	2	2	5	8	9
Unterschätzung —	18	6	1	1,						

so zeigt sich, daß die Überschätzungen und Unterschätzungen nur verhältnismäßig geringe Beträge erreichen und daß die Dezimalgleichung im wesentlichen symmetrisch zur Feldmitte verläuft.

Daß aber die durch die Dezimalgleichung bedingten Schätzungsfehler auch bei Anwendung einer Wendelatte mit um eine Intervallhälfte verschobenen Teilungen nicht ausgeschaltet werden, beweist die Tafel 12.

Tafel 12.

Zehntel		A			B_1			B_2			B_3		
Vorderseite	Rückseite	Vorderseite	Rückseite	Mittel	Vorderseite	Rückseite	Mittel	Vorderseite	Rückseite	Mittel	Vorderseite	Rückseite	Mittel
0	5	96	81	88	111	80	96	108	87	98	101	83	92
1	6	99	89	94	89	100	94	101	103	102	109	113	111
2	7	106	110	108	81	91	86	81	89	85	92	106	99
3	8	111	117	114	106	111	108	110	102	106	106	93	100
4	9	97	94	96	130	101	116	111	108	110	98	99	98

Die durch die Reihe M gegebene Dezimalgleichung ließe sich natürlich leicht durch eine Fouriersche Reihe darstellen, jedoch hätte das Ergebnis keinen praktischen Wert.

3. Von wesentlich größerer Bedeutung ist die Frage, ob die Dezimalgleichung des Beobachters L. in derselben Weise, wie es schon bei den behandelten Winkelmessungen festgestellt ist, auch hier für einen kürzeren Zeitraum praktisch unveränderlich bleibt. Zu diesem Zweck ist die Reihe B_1, die sich zwanglos durch zeitliche Grenzen in 6 aufeinanderfolgende Gruppen zerlegen läßt, besonders bearbeitet worden.

Tafel 13 weist die ausgezählten Zehntel, Tafel 14 die Häufigkeitsziffern nach.

Tafel 13.

Gruppe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ	Σ_r	Σ_m
1	47	30	14	28	40	32	31	19	30	33	47	304	154	150
2	40	33	46	43	56	29	35	47	48	43	40	420	210	210
3	30	28	19	23	36	32	29	24	25	30	30	276	132	144
4	30	27	37	42	36	24	35	34	47	24	30	336	165	171
5	30	36	27	33	46	18	35	38	32	33	30	328	158	170
6	67	42	35	63	70	40	54	38	62	59	67	530	265	265
B_1	244	196	178	232	284	175	219	200	244	222	244	2194	1084	1110

Tafel 14.

Gruppe	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ	Σ_r	Σ_m
1	155	99	46	92	132	105	102	62	99	108	155	1000	507	493
2	95	79	110	102	134	69	83	112	114	102	95	1000	500	500
3	109	101	69	83	130	116	105	87	91	109	109	1000	479	521
4	89	80	110	125	107	72	104	101	140	72	89	1000	491	509
5	91	110	82	101	140	55	107	116	97	101	91	1000	481	519
6	127	79	66	119	132	75	102	72	117	111	127	1000	500	500
B_1	111	89	81	106	130	80	100	91	111	101	111	1000	493	507
m_1	±23,6	12,7	23,4	14,7	10,4	21,4	8,0	19,9	16,5	13,3	23,6			
B'_1	111	91	80	104	129	82	100	92	110	101	111			
m_2	±25,8	13,7	25.6	15,9	10,6	24,2	8,8	21,8	18,0	14.5	25,8			
m'_{B_1}	±10,6	5,6	10,4	6,5	4,6	9,9	3,6	8,9	7,3	5,9	10,6			

Einen Maßstab für die Schwankungen der Werte der Gruppen 1 bis 6 kann man dadurch erhalten, daß man die einzelnen Werte G_i mit denen der Reihe B_1 vergleicht, d. h. für jedes Zehntel und für jede Gruppe

$$d_1 = B_{1_i} - G_i$$

bildet.

Sieht man weiter die d_1 in bezug auf B_1 als wahre Fehler an, was sie natürlich, streng betrachtet, nicht sind, und bezeichnet mit n die Anzahl der Gruppen, so erhält man aus

$$m_1 = \sqrt{\frac{[d_1 d_1]}{n}},$$

ein Genauigkeitsmaß.

Betrachtet man ferner die einzelnen Gruppen als gleichgewichtig und bildet für jedes Zehntel das Mittel

$$B'_{1_i} = \frac{[G_i]}{n},$$

so findet man aus

$$d_2 = B'_{1_i} - G_i$$

und

$$m_2 = \sqrt{\frac{[d_2\, d_2]}{n-1}}$$

ein weiteres Genauigkeitsmaß.

m_1 und m_2 geben einen Anhalt für die mittlere Ungenauigkeit eines Wertes G_i.

Die Genauigkeit m_{B_1} eines Wertes B'_1 ergibt sich aus

$$m_{B'_1} = \frac{m_2}{\sqrt{n}}.$$

m_1, B'_1, m_2 und $m_{B'_1}$ weist die Tafel 14 nach; sie beweisen, daß die Vorliebe für die einzelnen Zehntel durchaus nicht gleich und, wie ein Vergleich mit Tafel 6 zeigt, auch nicht unveränderlich ist. Die Auffassung der Intervallgrenze, der Mitte und der Viertel schwankt am meisten. Jedenfalls gilt die Schlußfolgerung 1 von F. Bouquet [5] nicht allgemein.

Bei der Betrachtung der absoluten Größe der m_1 und m_2 darf nicht vergessen werden, daß die Zahl der in einer Gruppe vereinigten Schätzungen eine verhältnismäßig kleine ist, so daß mit der Möglichkeit einer Überdeckung der Regelmäßigkeiten durch zufällige Abweichungen davon zu rechnen ist.

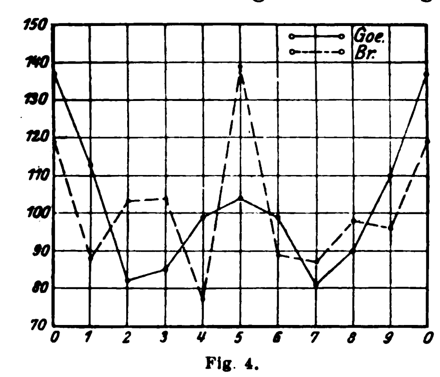


Fig. 4.

4. Um festzustellen, ob die Dezimalgleichung verschiedener Beobachter bei der gleichen Art von Beobachtungen gleich oder doch ähnlich verläuft, habe ich die Ergebnisse der unter Leitung von Harksen [38, 39] ausgeführten Feineinwägung des Stadtkreises Remscheid nach den Feldbüchern aufgearbeitet[1]).

Die für die Beurteilung der Messung maßgebenden Zahlen sind in Tafel 8 Rem. gegeben. Der mit $\pm 1{,}5$ mm angegebene mittlere Kilometerfehler für die Einwägung in beiden Richtungen ist eingeklammert, da das Beobachtungsverfahren ein anderes war, so daß ein unmittelbarer Vergleich nicht möglich ist.

Es handelt sich um 12154 Schätzungen von 2 Beobachtern, die in Tafel 15 nach der Auszählung, in Tafel 16 in Tausendsteln der Reihensummen und in Tafel 17 nach der Zehntelfolge nachgewiesen sind. Eine zeichnerische Darstellung von Tafel 16 gibt Fig. 4.

Tafel 15.

Beobachter	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ	Σ_r	Σ_m
Goe.	1171	970	704	732	845	895	852	698	772	947	1171	8586	4564	4022
Br.	424	313	367	370	276	495	319	310	352	342	424	3568	1798	1770

Tafel 16.

Beobachter	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ	Σ_r	Σ_m
Goe.	137	113	82	85	99	104	99	81	90	110	137	1000	532	468
Br.	119	88	103	104	77	139	89	87	98	96	119	1000	504	496

[1]) Die mühselige Arbeit der Auszählung hat Herr Stadtlandmesser P. Brauns in Remscheid ausgeführt, wofür ich auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen möchte.

Tafel 17.

Goe.	Zehntel	7	2	3	8	4	6	5	9	1	0
	Häufigkeitsziffer	81	82	85	90	99	99	104	110	113	137
Br.	Zehntel	4	7	1	6	9	8	2	3	0	5
	Häufigkeitsziffer	77	87	88	89	96	98	103	104	119	139

Die Dezimalgleichung des Beobachters Goe. zeigt eine mit ungewöhnlicher Klarheit ausgeprägte, zur Intervallmitte symmetrische Anordnung. Sie ließe sich durch eine Fouriersche Reihe ausgezeichnet darstellen.

Die Dezimalgleichung des Beobachters Br. zeigt eine starke Überschätzung der Intervallmitte, eine schwächere der Intervallgrenzen und eine unbedeutende des ersten Intervallviertels, dagegen eine Unterschätzung des dritten Intervallviertels.

Die Dezimalgleichungen dieser beiden Beobachter können untereinander und mit der des Beobachters L. nicht verglichen werden.

5. Vergleicht man die S. 38 (9) mitgeteilte, aus Schätzungen bei praktischen Winkelmessungen hergeleitete Dezimalgleichung [Tafel 4, Reihe I] mit der aus Schätzungen bei praktischen Einwägungen gefundenen [Tafel 10, Reihe *M*], so bietet sich folgendes, in Tafel 18 und Fig. 5 gegebenes Bild:

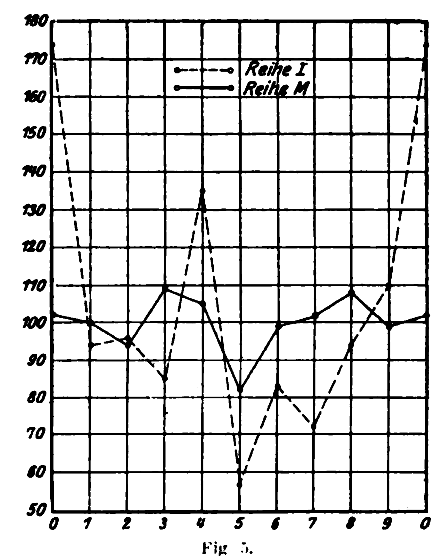


Fig. 5.

Tafel 18.

Reihe	Lage des Intervalls zur Pupillenlinie[2])	Lage des Zeigerstrichs zur Pupillenlinie[2])	Anzahl der Schätzungen	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ_r	Σ_m
I	—	⊥	8139	174	94	96	85	135	57	83	72	94	110	174	568	432
M	⊥	—	11932	102	100	94	103	105	82	99	102	108	99	102	503	497

Nimmt man hierzu noch die nach der aufsteigenden Häufigkeitsziffer geordneten Zehntelfolgen:

Reihe *I*	Zehntel	5	7	6	3	1	8	2	9	4	0
	Überschätzung +								10	35	74
	Unterschätzung	—43	28	17	15	6	6	4			
Reihe *M*	Zehntel	5	2	6	9	1	0	7	4	8	3
	Überschätzung +					±0	2	2	5	8	9
	Unterschätzung	—18	6	1	1,						

so sieht man leicht, daß die Dezimalgleichung trotz engen zeitlichen Zusammenhanges bei *M* wesentlich anders verläuft wie bei *I*. Zwar wird die 5 noch immer unterschätzt, aber die außerordentliche Überschätzung der 0 bei Reihe *I*, die wohl „durch die Stärke der Teilstriche und des Indexstriches [$^1/_{10}$ Intervall], wenn auch

[2]) Unter Pupillenlinie wird die Verbindungslinie beider Pupillen bei normaler Kopfhaltung verstanden.

nicht hervorgerufen, so doch beeinflußt worden" [28 S. 8] ist, ist bei Reihe *M* nahezu ganz verschwunden.

Im allgemeinen betrachtet, ist der Verlauf der Dezimalgleichung bei Reihe *M* ein wesentlich ausgeglichenerer, als bei Reihe *A*.

Ob die Lage des durch Schätzung einzuteilenden Intervalls und des Zeigerstriches, die in der Tafel 18 für beide Reihen nachgewiesen ist, irgendwelchen Einfluß auf die Dezimalgleichung ausübt, läßt sich nicht entscheiden. Nach den Erfahrungen der physiologischen Optik ist mit einem solchen Einfluß allerdings mit ziemlicher Sicherheit zu rechnen[1]. (Schluß folgt.)

Neuerung am Hammer-Fennelschen Tachymetertheodolit.

Von
E. Hammer in Stuttgart.

1. Über das genannte Instrument zur unmittelbaren Lattenablesung der horizontalen Entfernung zwischen Tachymeteraufstellungspunkt und Standpunkt der vertikalen Latte und des Höhenunterschieds zwischen beiden Punkten ist in der Literatur mehrfach berichtet[2].

Alle bisher von Otto Fennel Söhne in Cassel ausgeführten Instrumente dieser Art haben die Entfernungskonstante 100, die Höhenkonstante 20; d. h. von den zwei unmittelbar an der Latte abgelesenen Abschnitten l_1 und l_2 ist der erste mit 100, der zweite mit 20 zu multiplizieren, um die zwei gesuchten Strecken, wagrechte Entfernung und Höhenunterschied zu erhalten.

Neuerdings ist mehrfach der Wunsch ausgesprochen worden, für topographische Aufnahmen mit längeren Zielungen die Entfernungskonstante C_1 gleich 200 statt 100 einzurichten. Ich habe schon früher darauf aufmerksam gemacht, daß es keinem Anstand unterliegt, sogar auf derselben Diagrammplatte Kurven für mehrere Werte der Konstanten unterzubringen.

Ich möchte hier einiges über die Berechnung des Diagrammes mitteilen (vgl. Hammer I, Abschnitt II, *S. 21ff.*) u. a. um die rechnerische Sicherstellung zu zeigen.

2. Das Diagramm wird nicht einfach auf Zeichenpapier aufgetragen, sondern, um dessen etwaiges Verziehen unschädlich zu machen, auf Papier, das auf eine starke Glasplatte aufgezogen ist. Es wird in 20-facher natürlicher Größe hergestellt und sodann photographisch auf die Gebrauchsgröße gebracht. In dieser letzten ist der Grundkreis (Nullfaden) ein Kreis von 30,00 mm, in der Zeichnung also $r = 600{,}00$ mm

---

[1]) Man beachte hierzu etwa W. Wundt [43 S. 593, 596], P. Labitzke [34 S. 18—25 und 36, Sp. 58—60], H. Kritzinger [44 S. 3—7, 35—39] und andere Forscher, die sich mit der bekannten, in ihrem Vorzeichen veränderlichen Augentäuschung bei der Halbierung einer vertikalen Strecke beschäftigen. Übrigens nimmt dieser Fehler sein Maximum nicht etwa bei vertikaler Stellung der durch Schätzung einzuteilenden Strecke ein.

[2]) Es seien nur folgende Schriften und Aufsätze angeführt: Hammer, Der Hammer-Fennelsche Tachymetertheodolit und die Tachymeterkippregel zur unmittelbaren Lattenablesung usf. (D.R.P. 122901), Stuttgart, Wittwer, 1901 (im Text mehrfach als Hammer I angeführt). Hammer, Der Tachymetertheodolit usf., *diese Zeitschr. 22, S. 21ff., 1902.* Fennel, Geodät. Instrumente, Heft 4, Hammer-Fennels Tachymeter und Topometer, Stuttgart, Wittwer. 1918. Über die Tachymeterkippregel dieser Art (Topometer): Hammer, Das Hammer-Fennelsche Topometer, *diese Zeitschr. 29. S. 129ff. 1909.*

Halbmesser. Er wird nicht mit dem Zirkel gezogen, sondern nach rechtwinkligen Koordinaten von der Tangente in O (vgl. Fig. S. 52) aus für α (Höhen- und Tiefenwinkel) von 2^0 zu 2^0 aufgetragen. Diese 2^0-Punkt-Koordinaten (x, y) auf je 0,01 mm genau sind in Hammer I, Tab. 1, *S. 23* zusammengestellt; ich habe die Zahlen neuerdings nachgerechnet und überall in der Einheit$_2$ (0,01 mm) richtig gefunden. Diese Zahlen (x, y) für den Grundkeis brauchen also hier, unter Verweis auf Hammer I, nicht nochmals angeschrieben zu werden. Dagegen mag gleich erwähnt sein, daß die Tab. 2 a. a. O. S. 25 für das 20-fach vergrößerte Diagramm die Werte a' in der Gegend von $\alpha = \pm 15^0$ um 0,01 mm und in der Gegend von $\alpha = \pm 30^0$ um 0,02 mm zu groß angibt; dieser kleine Fehler ist jedoch an sich nicht von Bedeutung und auch insofern gleichgültig, als die Zahlen der Tab. 2 nicht weiter gebraucht werden.

Die folgenden Zahlen beziehen sich abermals auf die Abmessungen des Porroschen Fernrohrs, das bei den bisherigen Ausführungen des Hammer-Fennelschen Instruments gebraucht worden ist: Objektivsystem aus zwei Linsen bestehend mit den Brennweiten

$$f = 350{,}0 \text{ mm (eigentliche Objektivlinse)}$$

und

$$f_1 = 220{,}0 \text{ mm} \qquad 1)$$

mit dem konstanten Abstand

$$m = 340{,}0 \text{ mm von einander,}$$

so daß dem diesem System äquivalenten Objektiv die Brennweite

$$F = \frac{f \cdot f_1}{f + f_1 - m} = 334{,}78 \text{ mm} \qquad 2)$$

zukommt, und der Abstand der zwei Fäden bei der Entfernungskonstante 100, wie bisher stets, und $\alpha = 0$ (horizontale Zielung)

$$a = 3{,}348 \text{ mm} \qquad 3)$$

zu betragen hat.

3. Die a. a. O. *S. 25ff.* durchgeführte Rechnung für den Radialabstand a' der beiden „Fäden" an einer bestimmten α-Stelle des Diagramms (dem dem Höhenwinkel α entsprechenden Punkt der Grundkurve und dem zu demselben α gehörigen Punkt der „Entfernungskurve") bei Annahme einer bestimmten Entfernungskonstanten C_1, wobei sich diese Rechnung der Winkel β und β_1 bedient, kann nun aber durch eine mühelosere unmittelbare Rechnung ersetzt werden. Es ist leicht zu zeigen (— der Nachweis muß hier unter Hinweis auf einen ausführlichen Aufsatz von Prof. Doležal[1]) über das Hammer-Fennelsche Instrument wegbleiben —), daß zwischen der Strecke a (vgl. 2.), die bei einer bestimmten Entfernungskonstanten C_1 nach $a = \frac{F}{C_1}$ 4) zu berechnen ist, und dem oben genannten Radialabstand a' an der Stelle α des Diagramms die Beziehung besteht:

$$a' = a \frac{C_1 \cdot \cos^2 \alpha}{C_1 + \sin \alpha \cos \alpha} \text{ für positive } \alpha$$

und

$$a' = a \frac{C_1 \cdot \cos^2 \alpha}{C_1 - \sin \alpha \cos \alpha} \text{ für negative Höhenwinkel vom absoluten Betrag } \alpha. \qquad 5)$$

[1]) *Zeitschrift des österreich. Ing. u. Arch.-Vereins 1902, Nr. 49*; Sonder-Abdruck, Wien 1902. 21 S. 8°.

4*

Doležal hat an der unten angegebenen Stelle neue a' (und h', was für uns hier augenblicklich nicht weiter in Betracht kommt) für $F = 334{,}78$ und $C_1 = 100$ nachgerechnet und vollständig genügende Übereinstimmung mit meinen Zahlen gefunden; die Unterschiede betragen nur in zwei Fällen (bei h') 0,02 mm (im 20fach vergrößertem Diagramm) und gehen sonst nirgends über 0,01 mm hinaus.

Wird nunmehr bei demselben $F = 334{,}78$ mm, $C_1 = 200$ gemacht, so ergeben sich für die a', gleich in dem 20fach vergrößerten Diagramm genommen, die Zahlen der folgenden Tabelle, die von anderer Seite und nach anderer Rechenweise

Tabelle 1.

a' im 20fach vergrößerten Diagramm ($r = 600{,}00$ mm) und für $C_1 = 200$.

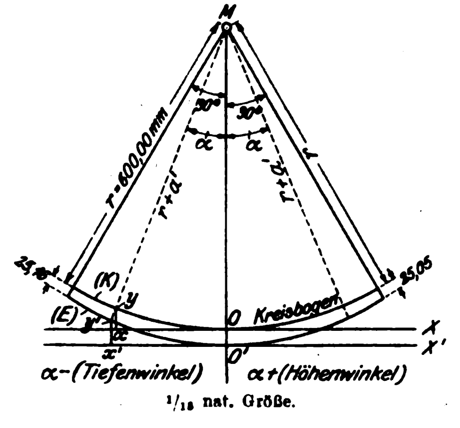
$\alpha^{(0)}$ —	a' (mm)	$\alpha^{(0)}$ +	a' (mm)
— 30	25,163	± 0	33,478
— 28	26,153	+ 2	33,431
— 26	27,098	+ 4	33,303
— 24	27,991	+ 6	33,095
— 22	28,830	+ 8	32,807
— 20	29,609	+ 10	32,440
— 18	30,325	+ 12	31,998
— 16	30,975	+ 14	31,481
— 14	31,555	+ 16	30,893
— 12	32,063	+ 18	30,236
— 10	32,496	+ 20	29,514
— 8	32,852	+ 22	28,730
— 6	33,129	+ 24	27,887
— 4	33,326	+ 26	26,991
— 2	33,443	+ 28	26,045
∓ 0	33,478	+ 30	25,054

Der Differenzenverlauf der Werte a' ist befriedigend; diese sind übrigens auch in jedem einzelnen Fall durch zwei andere Arten der Rechnung kontrolliert.

geprüft worden sind; ich lasse die $\text{Einh}_3\,(\text{mm}) = 1\,\mu$ hier stehen, obwohl sie praktisch keine Bedeutung hat, damit die für das Folgende notwendigen Summen

$$r + a' = 600{,}000 + a'(\text{mm}) \qquad 6)$$

in der Einh_2 (0,01 mm) gesichert bleiben.



1/18 nat. Größe.

4. Um weitere Proben beim Auftragen des Diagramms (zunächst für die Entfernungskurve) zu erhalten, sind nun diesmal neben den Koordinaten (x, y) im System O für den Grundkreis (s. oben in 2.) auch rechtwinklige Koordinaten (x', y') für die neue Entfernungskurve ($C_1 = 200$) im System O' (x' senkrecht zu MO) berechnet worden, wie sie die folgende Tabelle 2 zeigt; es waren einfach die Polarkoordinaten ($r + a'$, α) für α von -30^0 bis $\alpha = +30^0$ von 2^0 zu 2^0 in rechtwinklige Koordinaten zu übersetzen. Die (x', y')

Tabelle 2.

(x', y') im System O' für das 20fach vergrößerte Diagramm ($r = 600{,}00$ mm) und für $C_1 = 200$.

$\alpha^{(0)}$	$\alpha -$ x' (mm)	$\alpha -$ y' (mm)	$\alpha'^{(0)}$	$\alpha +$ x' (mm)	$\alpha +$ y' (mm)
— 30	312,58	92,07	± 0	0,00	0,00
— 28	293,96	80,62	+ 2	22,11	0,43
— 26	274,90	69,85	+ 4	44,18	1,72
— 24	255,43	59,78	+ 6	66,18	3,85
— 22	235,56	50,44	+ 8	88,07	6,83
— 20	215,34	41,84	+ 10	109,82	10,65
— 18	194,78	34,00	+ 12	131,40	15,29
— 16	173,92	26,94	+ 14	152,77	20,75
— 14	152,79	20 68	+ 16	173,90	27,02
— 12	131,41	15,23	+ 18	194,75	34,09
— 10	109,83	10,59	+ 20	215,31	41,93
— 8	88,08	$6{,}78_5$	+ 22	235,53	50,53
— 6	66,18	3,82	+ 24	255,38	59,87
— 4	44,18	$1{,}69_5$	+ 26	274,85	69,94
— 2	22,11	0,42	+ 28	293,91	80,71
∓ 0	0,00	0,00	+ 30	312,53	92,16

sind auf 1 Einh_2 (0,01 mm) abgerundet. Man hat bei diesem Auftragen der zwei Kurven des Diagramms (Grundkreis K und Entfernungskurve E) unabhängig voneinander, nachdem die x- und die x'-Achse in der Entfernung 600,00 und 633,48 mm von M genügend scharf senkrecht zu MOO' gelegt sind, z. B. mit Hilfe eines geprüften Koordinatographen und mit Zugrundelegung der Zahlen der in 2. erwähnten Tabelle aus Hammer I, die weitere Probe, daß je zwei einander entsprechende 2^0-Punkte beider Kurven scharf auf einer nach M gerichteten Geraden liegen müssen und zwar in den Abständen a' voneinander, wie sie die obenstehende Tabelle 1 bietet. Die Zentrierungs- oder Richt-Marken für das Diagramm im ganzen bleiben selbstverständlich nach wie vor notwendig.

5. Ob man die Entfernungskurve für die Konstante $C_1 = 200$ auf dieselbe Diagrammplatte neben die Entfernungskurve für die Konstante 100 aufnehmen will, wird verschieden beurteilt werden; die Konstante $C_2 = 20$ für die Höhenkurve wird sich bei mäßig bewegtem Gelände auch bei $C_1 = 200$ statt 100 noch zweckmäßiger zeigen als z. B. $C_2 = 10$.

Auf andere Möglichkeiten, verschiedene Konstanten für Entfernung und für Höhenunterschied an demselben Instrument einzurichten, nämlich mit Hilfe desselben Diagramms bei verschieden geteilter Latte, gehe ich hier nicht ein.

Ein Beitrag zur Bestimmung der Brennweite und der Hauptpunkte.

Von
H. Erfle in Jena.

Es gibt schon zahlreiche — man kann vielleicht noch besser sagen: zahllose — Verfahren zur Bestimmung der Brennweite. Soweit ich bis jetzt ermitteln konnte, ist das folgende Verfahren noch nicht bekannt. Es ist bei einem beliebigen Linsensystem oder auch bei einem beliebigen System aus Linsen und Spiegeln anwendbar und benutzt als Grundlage der Berechnung eine zweimalige Anwendung der Newtonschen Gleichung

$$\mathfrak{x} \cdot \mathfrak{x}' = f^2 . \qquad 1)$$

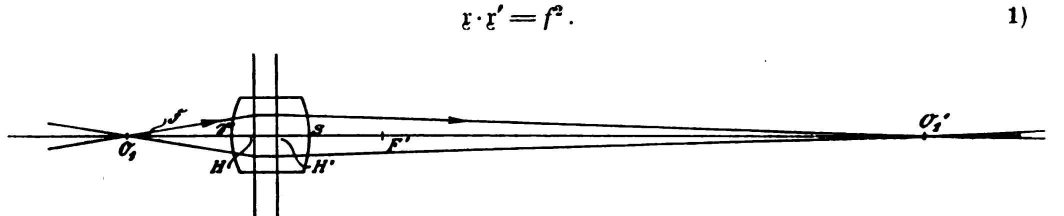


Fig. 1. $\mathfrak{F}$ und F' Brennpunkte einer beliebigen Linsenfolge, deren äußerste Linsenscheitel $\mathfrak{S}$ und S sind. H und H' Hauptpunkte. O_1' ist der zu O_1 gehörende Bildpunkt für achsennahe Strahlen.

In Fig. 1 ist am Beispiel einer Linsenfolge, deren Wirkung einer Sammellinse entspricht, der dingseitige Brennpunkt mit $\mathfrak{F}$, der bildseitige Brennpunkt mit F' bezeichnet worden. Ich habe diese Bezeichnung ($\mathfrak{F}, F'$) der schon länger eingeführten (F, F') vorgezogen, weil ich es für einwandfreier halte, den Grundsatz, daß jeder mit einem Strich versehene Buchstabe den Bildpunkt zu dem mit dem ungestrichenen Buchstaben bezeichneten Punkt darstellt, ohne Ausnahme durchzuführen. Ich habe das schon in einer früheren Arbeit[1]) getan und will noch hinzufügen, daß auch ältere Schriftsteller — beispielsweise A. F. Möbius in seiner von mir gelegentlich der soeben angeführten Arbeit genannten Veröffentlichung — die beiden Brennpunkte mit verschiedenen Buchstaben bezeichneten.

In Gl. 1) habe ich auf der rechten Seite f^2 geschrieben, d. h. also den beiden Brennweiten f und f' gleiches Vorzeichen und gleiche Größe zugeschrieben, einem bei Messungen häufig geübten Brauche folgend. Es soll also die Brennweite des Dingraumes $f = H\mathfrak{F}$ positiv sein, wenn die Richtung von H nach $\mathfrak{F}$ der Richtung des einfallenden Lichtstrahls entgegengesetzt verläuft. Die Brennweite des Bildraumes $f' = H'F'$ soll positiv sein, wenn die Strecke $H'F'$ mit der Richtung des bildseitigen Lichtstrahls übereinstimmt. Dieselbe Vorzeichenbestimmung gilt dann auch für die Strecken $\mathfrak{x}_1 = \mathfrak{F}\, O_1$ bezw. $\mathfrak{x}_1' = F'\, O_1'$ (allgemein $\mathfrak{x} = \mathfrak{F}\, O$ bezw. $\mathfrak{x}' = F'\, O'$). Die Methode, zunächst $\mathfrak{F}$ und F' zu bestimmen, dann für zwei einander entsprechende Punkte (O_1, O_1') $\mathfrak{x}_1$ und $\mathfrak{x}_1'$ zu messen und f^2 aus

$$f^2 = \mathfrak{x}_1 \cdot \mathfrak{x}_1' \qquad 1a)$$

zu bestimmen, ist schon sehr lange bekannt; sie hat aber den Nachteil, daß die Kenntnis der Lage von $\mathfrak{F}$ und F' vorausgesetzt wird.

In dem nunmehr zu beschreibenden Verfahren ist es gar nicht notwendig, daß der Brennpunkt $\mathfrak{F}$ zugänglich ist. Auch die Lage von F' braucht nicht bekannt zu

---

[1]) H. Erfle, Übersichtliche Zeichenverfahren zur Ermittlung der Achsen-Bildpunkte. *Central-Ztg f. Opt. u. Mech.* ***41.*** *S. 351—354, 366—368, 1920.*

sein. Man ermittelt zunächst (Fig. 2) mit Hilfe eines nicht eingezeichneten Fernrohrs diejenige Stellung des Linsensystems, in der $\mathfrak{F}$ durch das Linsensystem ins Unendliche abgebildet wird. Der Punkt $\mathfrak{F}$ kann dabei entweder einem unmittelbar abzubildenden Gegenstand angehören; $\mathfrak{F}$ kann aber auch schon ein entweder (wie im Falle der Fig. 2) reelles oder virtuelles Bild eines Dingpunktes darstellen, das durch eine beliebige nicht eingezeichnete Folge von Linsen oder auch von Spiegeln entstanden ist. Ich will diese nicht eingezeichnete Linsen- oder Spiegelfolge mit L bezeichnen. Denkt man sich nunmehr mit der Linse $\mathfrak{S}\,S$ einen der optischen Achse parallelen Maßstab

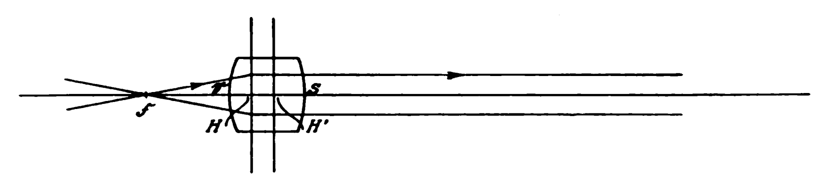


Fig. 2. Bei dem hier gewählten Meßverfahren ist die Nullstellung für die Dingabstände dadurch gekennzeichnet, daß der Bildpunkt im Unendlichen liegt (bildseitige Einstellung auf Unendlich).

fest verbunden, dann kann man für zwei andere Stellungen der Linse $\mathfrak{S}\,S$ (siehe Fig. 1 und Fig. 3) am Maßstab unmittelbar $\mathfrak{x}_1$ und $\mathfrak{x}_2$ ablesen[1]), wenn der Nullpunkt des Maßstabs so gelegt wird, daß für die bildseitige Einstellung auf Unendlich der zur Dingseite gehörige Index J auf Null zeigt. Mißt man dann mittels eines Einstellfernrohrs oder auch eines Einstellmikroskops die Differenz

$$d' = S\,O_1' - S\,O_2', \qquad 2)$$

dann erhält man f^2 aus

$$f^2 = \frac{d'}{\frac{1}{\mathfrak{x}_1} - \frac{1}{\mathfrak{x}_2}}. \qquad 3)$$

Die Gleichung 3) ist sehr einfach abzuleiten aus

$$d' = S\,O_1' - S\,O_2' = \mathfrak{x}_1' - \mathfrak{x}_2' = \frac{f^2}{\mathfrak{x}_1} - \frac{f^2}{\mathfrak{x}_2}.$$

Fig. 3. Der Unterschied gegenüber Fig. 1 besteht in der Änderung der Lage des Dingpunktes O_2 und des Bildpunktes O_2'

Kennt man die Lage von J entweder in bezug auf S oder in bezug auf $\mathfrak{S}$ (und außerdem die Gesamtdicke $S\mathfrak{S}$ des Systems), dann ist damit auch der dingseitige Brennpunktsabstand $S\mathfrak{F}$ ermittelt.

Führt man noch die Hauptpunktsabstände $a_H = H\,\mathfrak{S}$ und $a_H = H'\,S$ ein, dann gilt

$$H'\,O_1' = f + \mathfrak{x}_1' = f + \frac{f^2}{\mathfrak{x}_1}. \qquad 4)$$

Kennt man die Lage des Index B, der zur Ermittlung der Lage von O_1' und O_2' dient, in bezug auf S, dann ist dadurch $S\,O_1'$ bestimmt. Man erhält schließlich

$$H'\,S = f + \frac{f^2}{\mathfrak{x}_1} - S\,O_1'. \qquad 5)$$

[1]) Wenn man sich nicht zu weit von der Nullstellung entfernen will, muß man $\mathfrak{x}_1$ und $\mathfrak{x}_2$ mikroskopisch messen und d' mittels eines Einstellfernrohrs von nicht zu schwacher Vergrößerung.

Man erkennt, daß das durch Gl. 3) ausgedrückte Verfahren zur Bestimmung von f^2 (im allgemeinen Falle ist f^2 zu ersetzen durch $f \cdot f'$) bei einer beliebigen Linsen- oder Spiegelfolge anwendbar ist, auch wenn der dingseitige Brennpunkt $\mathfrak{F}$ unzugänglich ist.

Selbstverständlich kann man auch so verfahren, daß man die zu untersuchende Linsenfolge $\mathfrak{S}\,S$ fest stehen läßt und diejenigen zwei Stellungen O_1 und O_2 in bezug auf ihren Abstand von der Nullstellung (d. h. der Stellung, für welche die bildseitige Schnittweite unendlich groß ist) bestimmt, bei denen die Differenz der auf einen beliebigen Nullpunkt bezogenen Schnittweiten d' beträgt. d' ist in diesem Falle die Verschiebung des Bildpunktes.

Bei der praktischen Ausführung dieses Verfahrens kann man noch die Genauigkeit durch Anwendung der Autokollimationsmethode erhöhen, indem man einen kleinen achsennahen Bereich der Dingebene in bekannter Weise (mittels eines kleinen Prismas) beleuchtet, eine Testplatte als abzubildenden Gegenstand verwendet und den Bildort O_1' bzw. O_2' dadurch bestimmt, daß man einen zur optischen Achse senkrechten, in den Abbildungen nicht eingezeichneten ebenen Spiegel T in diejenigen beiden Stellungen bringt, in denen einmal O_1' in die Spiegelebene, das andere Mal O_2' in die Spiegelebene fällt. Man erkennt dies daran, daß die an T gespiegelten Strahlen nach Durchlaufen der Linsenfolge $\mathfrak{S}\,S$ in rückkehrender Lichtrichtung ein mit dem Dingpunkt in der gleichen achsensenkrechten Ebene liegendes Bild erzeugen. Stehen die Testplatte und die Linsenfolge $\mathfrak{S}\,S$ so zueinander, daß die Testplatte in der dingseitigen Brennebene von $\mathfrak{S}\,S$ liegt, d. h. daß der Achsenpunkt der Testplatte mit $\mathfrak{F}$ zusammenfällt, dann fällt das Bild dieses Achsenpunktes nach zweimaligem Durchgang der Lichtstrahlen durch $\mathfrak{S}\,S$ für irgend eine achsensenkrechte Stellung des Spiegels T mit $\mathfrak{F}$ zusammen. Die Tatsache, daß bei einer nicht zu kleinen Parallelverschiebung des ebenen Spiegels längs der optischen Achse die Scharfeinstellung erhalten bleibt, kann geradezu als Kennzeichen für das Zusammenfallen der Testplatte mit der dingseitigen Brennebene der Linsenfolge betrachtet werden. Oder andererseits: wenn man vorher mittels eines Hilfsfernrohrs unter Weglassung des Spiegels T geprüft hat, ob das durch die Linsenfolge erzeugte Bild im Unendlichen liegt, kann die Ebenheit des Spiegels geprüft werden durch die Probe auf die Erhaltung der Scharfeinstellung bei paralleler Verschiebung des Spiegels.

Der Allgemeinheit halber verdient noch erwähnt zu werden, daß die Dingebene der zu untersuchenden Linsenfolge $\mathfrak{S}\,S$ nicht unmittelbar durch das Autokollimationsprisma oder eine ähnliche Einrichtung beleuchtet zu werden braucht. Man kann diese Autokollimationseinrichtung[1]) auch vor dem optischen Instrument anbringen, dessen Okular die zu untersuchende Linsenfolge bildet, so daß sich dann zwischen $\mathfrak{F}$ (bzw. O_1 oder O_2) und der Autokollimationsbeleuchtungseinrichtung die oben mit L bezeichnete Linsenfolge befindet. Zur Beobachtung kann dann ein Hilfsfernrohr bzw. Hilfsmikroskop mit geeigneter Vergrößerung gewählt werden.

Statt, wie in Gl. 3), f^2 aus $\mathfrak{x}_1$, $\mathfrak{x}_2$, d zu bestimmen, kann man auch f^2 bestimmen aus der Gleichung

$$f^2 = \frac{d}{\frac{1}{\mathfrak{x}_1'} - \frac{1}{\mathfrak{x}_2'}}, \qquad 6)$$

[1]) Beispielsweise in der Form eines Prismenwürfels mit halbdurchlässiger Silberschicht.

in der $\mathfrak{x}_1'$ und $\mathfrak{x}_2'$ auf F' bezogen sind und $d = \mathfrak{S}\,O_1 - \mathfrak{S}\,O_2$ den Unterschied der dingseitigen Schnittweiten für die beiden zu $\mathfrak{x}_1'$ und $\mathfrak{x}_2'$ gehörenden Linsenstellungen bezeichnet. Auf die praktische Verwirklichung einer auf Gl. 6) gegründeten Bestimmung von f^2 will ich nicht weiter eingehen, da das im Anschluß an 3) beschriebene Verfahren lediglich entsprechend umzugestalten ist.

Selbstverständlich haben die beiden Verfahren, sowohl das durch 3), als auch das durch (6) gekennzeichnete, den Nachteil, daß sie eine Brennweitenmessung auf Scharfeinstellungen mehrerer Bilder aufbauen. Diesen Nachteil vermeidet bekanntlich das Abbesche Fokometer[1]) durch Zugrundelegung eines nach der Bildseite telezentrischen Strahlengangs. Die Berechnung der Brennweite beim Abbeschen Fokometer entspricht einer von Th. H. Mac Gillavry[2]) angegebenen Gleichung

$$f = \frac{d}{\frac{1}{N_1} - \frac{1}{N_2}}. \qquad 7)$$

In dieser Gleichung sind die Vergrößerungen $N_1 = \frac{\mathfrak{x}_1'}{f}$ bzw. $N_2 = \frac{\mathfrak{x}_2'}{f}$ positiv gerechnet, wenn, wie beispielsweise beim photographischen Objektiv, ein umgekehrtes Bild entsteht. Führt man diese Werte von N_1 und N_2 in 7) ein, dann erhält man die Gl. 6), welche die Grundlage der einen Form des vorhin beschriebenen Verfahrens bildet.

Will man die beiden Formen des von mir beschriebenen Verfahrens zur Bestimmung der Brennweite einordnen unter die bisher bekannten Verfahren, dann erkennt man, daß es als Sonderfall des von C. F. Gauß[3]) beschriebenen Verfahrens bezeichnet werden kann. Gauß hat nämlich gezeigt, wie man aus drei Versuchen die Größe der Brennweite und die Lage der beiden Brennpunkte, also auch die Lage der beiden Hauptpunkte, durch Auflösung von drei Gleichungen nach drei Unbekannten bestimmen kann. Es sei noch ausdrücklich bemerkt, daß Gauß den Sonderfall seines allgemeinen Verfahrens, der zu meinem Verfahren führt, nicht beschrieben hat.

Bei R. Dongier[4]) kommt zwar eine Gleichung[5]) vor, welche in unserer Schreibweise lautet:

$$d = f^2\left(\frac{1}{\mathfrak{x}_1'} - \frac{1}{\mathfrak{x}_2'}\right).$$

---

[1]) S. Czapskii, Methode und Apparat zur Bestimmung der Brennweiten (Fokometer) nach Abbe *diese Zeitschr.* **12.** *S. 185—197, 1892.*

[2]) Th. H. Mac Gillavry, De bepaling der focaal afstanden van samengestelde optische stelsels. *Maandblad voor Natuurwetenschappen.* **5.** *Nr. 5. S. 73—78. 1875.* Die dort angegebene Gleichung (II) lautet

$$f = \frac{k\,\gamma'\,\gamma}{\gamma' - \gamma}.$$

[3]) C. F. Gauß, Dioptrische Untersuchungen. Göttingen. Druck und Verlag der Dieterichschen Buchhandlung 1841. 4°. 34 (1) S. §§ 16 bis 20. Siehe auch die 2. von O. Eppenstein herausgegebene Auflage (S. 447) des Buches von S. Czapski: Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe (Leipzig, Joh. Ambr. Barth, 1904).

[4]) R. Dongier, *Appareil de mesure des courbures et des éléments d'un système optique quelconque. Journ. de physique* (3) **10.** *S. 266—276; 1901.*

[5]) Sie lautet $\pi_2 - \pi_1 = f^2\left(\frac{1}{\pi_1'} - \frac{1}{\pi_2'}\right)$.

Man findet aber bei Dongier keinen Hinweis auf die Möglichkeit einer Bestimmung der Brennweite nach dem Verfahren, wie ich es hier beschrieben habe

Zum Schluß bemerke ich noch, daß das von mir beschriebene Verfahren zweckmäßige Verwendung finden kann bei sammelnden oder zerstreuenden Linsen- oder Spiegelfolgen mit einer Brennweite in der Größenordnung 5 bis 30 mm.

Jena, Optische Werkstätte von Carl Zeiss.

Bücherbesprechungen.

K. Friedrich, Oberstl. und Kommandeur der Pionierschule München, Neue Grundlagen und Anwendungen der Vektorrechnung. VI u. 102 S. mit Abb. München, R. Oldenbourg 1921. Preis 27.50 M.

Die inhaltreiche Schrift bezweckt die weitere Ersetzung der bisher meist üblichen Rechenweisen der Technik durch die Anwendung der „Vektorrechnung" (ich möchte auch hier, falls eine deutsche Bezeichnung für Vektor erwünscht ist, die Bezeichnung Richtstrecke vorschlagen[1]), die weitere Einführung der „geometrischen" Rechnung. Es ist bekannt, welch weitgehender Gebrauch von dieser Rechenweise schon jetzt in der Elektrotechnik gemacht wird; der Verfasser möchte sie aber ferner auch ins Gebiet der Statik des Bauingenieurs und der Kinematik des Maschineningenieurs hineintragen, ja er spricht auch schon, und nicht ohne Grund, von einer „vektoriellen Geodäsie", indem er die Methode auf die wichtigen Aufgaben der Einschaltung trigonometrischer Punkte ins Netz gegebener Punkte und insbesondere auf die dabei auftretenden Ausgleichungsaufgaben ausdehnt. Es gelingt ihm nämlich, diese Ausgleichungen durch Bestimmung der Richtstrecke von einem Näherungspuunkt nach dem endgültig zu wählenden Punkt zu vereinfachen; selbst für die Ausgleichung eines an den Endpunkten vollständig angeschlossenen Polygonzugs oder eines geschlossenen Polygons, die bei der bisherigen Behandlung recht umständliche Berechnungen verursacht, gelingt ihm ein verhältnismäßig sehr einfaches vektorielles Verfahren. Auch Mathematiker und Physiker werden zahlreiche Anregungen in der Schrift finden, so die neue Auflösung der Gleichung 5. Grades, die der höheren Gleichungen durch Annäherung, die Sätze über die hyperbolischen Richtstrecken und Richtstrecken-Koordinaten, eine neue Exponentialdarstellung der Raumrichtstrecken (mit Anwendungen auf die sphärische Trigonometrie und räumliche Komponentenbildung), den vektoriellen Momentensatz in der Ebene und die Lehre von der Kraftmitte.

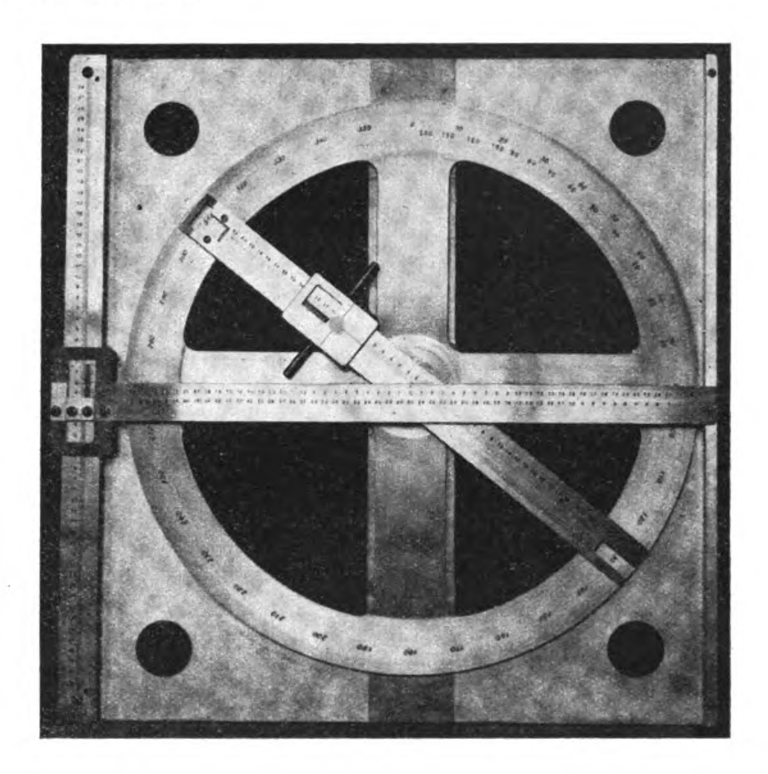
Es ist also kaum zu viel gesagt, wenn der Verfasser einfache Richtstreckenauflösungen für alle Hauptaufgaben der technischen Rechenpraxis verspricht und nicht weniger als eine vollständige Umwälzung dieser Rechenpraxis anzubahnen versucht. Sicher scheint mir zu sein, daß dieser beachtenswerte und für viele Gebiete sicher auch folgenreiche Versuch nicht für alle die in Angriff genommenen Gebiete von derselben Bedeutung werden wird; allgemein gesprochen werden diejenigen Gebiete, die größere Genauigkeit der Rechnung erfordern, weniger Nutzen aus der Sache ziehen können als andere.

Alle Leistungen der neuen Methoden des Verfassers gründen sich nicht gerade unbedingt auf, werden aber sehr wesentlich unterstützt durch ein neues, dem Verfasser patentiertes Instrument D. R. P. 333548), das er Vektorinstrument nennt und das, wie es scheint in verschiedenen Größen und in verschiedenen Materialien, ausgeführt wird von Gebr. Haff in Pfronten, Bayern. Dieses Instrument in all seiner Einfachheit gibt mir die besondere Veranlassung, die Arbeit des Verfassers auch hier, wenigstens vorläufig, zu besprechen; ich muß nämlich sogleich hinzufügen, daß ich noch keine Gelegenheit hatte, eigene Erfahrungen mit dem Instrument zu sammeln, weder nach der Seite der Bequemlichkeit der Anwendung noch in Beziehung auf die Genauigkeit.

---

[1]) Keiner der bisher gebrauchten Ausdrücke „Liniengröße" des ältern, „Stab" des jüngern Graßmann, „Richtungszahl" von Riecke, usw. hat allgemeine Verbreitung gefunden. Der Name Vektor hat freilich, wie häufig bei Fremdwörtern, den Vorzug des bequemen Eigenschaftsworts vor der „gerichteten Strecke" oder Richtstrecke, wie oben vorgeschlagen.

Das Instrument (vgl. die Abbildung) besteht aus einem Grad-Teilkreis, um den ein nach außen hin quadratisch gestalteter Rahmen gedreht werden kann. Parallel mit zwei Seiten dieses Quadrats kann eine,an den andern zwei Seiten zwangsläufig geführte Schiene verschoben werden, längs der ein mit Längenteilung versehenes Lineal angebracht ist, das in der Längsrichtung der Schiene hin- und hergeschoben werden kann. Wenn Anfangs- und Endpunkt des Lineals mit den Endpunkten der Schiene sich decken, so liegt der Nul'punkt der Linealteilung in der Mitte der Schiene. Endlich ist um den Mittelpunkt des Teilkreises ein ebenfalls mit mm-Teilung versehene Durchmesserlineal mit Zeigerstrich am Ende drehbar, an dessen Längenteilung eine Ablese marke verschoben werden kann.



Das Instrument dient zur geometrischen Zusammensetzung und Zerlegung (Komponentenbildung) von Richtstrecken. Seine Anwendung auf die einfachsten Rechnungen der ebenen Trigonometrie (Dreiecksberechnung) und einfache trigonometrische Aufgaben der niedern Geodäsie halte ich nicht für so wichtig, wie die schon oben angedeutete Anwendung auf die vektorielle Behandlung bestimmter Ausgleichungsaufgaben. Freilich sieht auch z. B. die Auflösung der Aufgabe der „unzugänglichen Entfernung“, in der Symbolik des Verfassers die schlichte Gleichung:

$$X = \frac{A}{1_{\psi}^{-\omega} - 1_{\varphi}^{-\chi}},$$

deren Nenner nur die Differenz zweier Richtstreckenzerlegungen enthält und wobei dieses Ergebnis mit dem „Vektorinstrument“ ohne Zwichenablesungen gerechnet werden kann und demnach die gesuchte Strecke sich aus der gegebenen und den gemessenen vier Winkeln ω, ψ, χ, φ auf einfachstem Wege ergibt, verlockend genug aus. Weniger einladend steht es mit der Genauigkeit des Ergebnisses (es lautet 3-stellig richtig 702, nicht 690; doch soll, wie bereits gesagt, vorläufig von der Genauigkeit der Rechnung hier nicht die Rede sein). Die Anwendung in zahlreichen **andern** Gebieten werden vom Verfasser teils eingehender besprochen, teils kurz angedeutet.

Eine besondere, bisher nicht erwähnte Einrichtung des Instruments macht es vollends zum „universellen Recheninstrument“, indem sie auch logarithmisch mit dem Instrument zu rechnen

und Exponentialfunktionen einschl. der Hyperbelfunktionen abzulesen gestattet. Im ersten Quadranten des Teilkreises ist nämlich am innern Rand noch eine logarithmische Teilung aufgetragen, wobei die Logarithmen die Grundzahl $\varepsilon = e^{\frac{\pi}{180}} = e^{\frac{1}{\varrho^{(\circ)}}}$ haben, da bei den praktischen Rechnungen die Winkel in weitaus der größern Zahl von Fällen in Gradmaß, nicht als Arcus zu nehmen sind und es deshalb zweckmäßig erscheint, auch bei der Anwendung der Hyperbelfunktionen (ebenso wie bei der der goniometrischen Funktionen) das Argument in Graden zu messen.

Ich behalte mir vor, auf die wichtige Veröffentlichung zurückzukommen, sobald ich genügend eigene Erfahrungen über die Genauigkeit der Leistungen des Vektorinstruments haben werde, wollte aber gleich jetzt die allgemeine Aufmerksamkeit auf die Sache lenken. *Hammer.*

Kurt Bennewitz. Flugzeuginstrumente. Handbuch der Flugzeugkunde. Bd. VIII. 319 S. mit 386 Abb. im Text. Berlin, Richard Carl Schmidt u. Co., 1922, geb. 120 M.

Der vorliegende Band des Handbuches der Flugzeugkunde wird die Aufmerksamkeit und das Interesse weiter Kreise finden, da er von einem Fachmann geschrieben ist, der selbst während des Krieges in die Entwicklung der Flugzeuginstrumente aller Art fördernd eingegriffen hat. Das Werk berücksichtigt sowohl die wissenschaftlichen Grundlagen, wie die Erfordernisse der Praxis und zeichnet sich durch eine gewandte und anregende Darstellungsform aus. Es werden in ziemlicher Vollständigkeit alle wichtigeren Instrumente, sowohl die, welche vor und während des Krieges ausgebaut sind, wie diejenigen, welche auch heute noch zu keiner definitiven Ausführungsform geführt haben, behandelt. Von Geräten, welche während des Krieges bis zu einer gewissen Vollkommenheit entwickelt sind und die in dem vorliegenden Werk eine ausführliche Würdigung erfahren haben, seien hier als Beispiele, der Fliegerhorizont von Anschütz, der Drechslersche Steuerzeiger, der Selenkompaß und der vom Verf. selbst angegebene Reisekompaß erwähnt.

Das Werk ist eingeteilt in folgende Abschnitte: Geräte zur Überwachung des Motors (Drehzahlmesser, Benzinuhren, Manometer, Kühlwasserthermometer) Geräte, zur Überwachung des Fluges und zur Navigation (Höhenmesser, Variometer, Neigungsmesser, Kompasse, Fahrtmesser), Geräte zur Beleuchtung des Flugzeuges und des Landeplatzes, sowie Signalgerät, Geräte zur persönlichen Unterstützung (Atemgerät, Heizgerät, Verständigungsgerät, Flugzeugspiegel usw.) und Geräte zu verschiedenen Zwecken (z. B. meteorologische Instrumente). Den einzelnen Abschnitten sind Verzeichnisse der wesentlichsten Werke der Fachliteratur hinzugefügt.

Hervorzuheben ist ferner noch die gediegene Ausstattung, welche der Verlag dem Werk hat zuteil werden lassen. *Alberti.*

G. Berndt, Physikalisches Praktikum. Dritte vermehrte und verbesserte Auflage. 1. Teil: Mechanik, Akustik, Wärme, Optik. 304 S. 2. Teil: Elektrizität Magnetismus. 300 S. Karlsruhe i. B. Braunsche Hofbuchdruckerei und Verlag. 1922.

Zum dritten Mal erscheint das Berndtsche Physikalische Praktikum, das in Anlehnung an die frühere Lehrtätigkeit des Verfassers als Leiter des physikalischen Instituts des Polytechnikums zu Cöthen (Anhalt) entstanden ist. Die neue Auflage ist im Vergleich zur vorhergehenden um eine Anzahl Aufgaben bereichert. Besonders ist der Abschnitt über Radioaktivität weiter ausgebaut worden.

Das Berndtsche Buch, in dem für jede Aufgabe ein praktisches Beispiel mit ausführlicher zahlenmäßiger Durchrechnung gegeben ist, hat sich mit Recht viele Anhänger erworben. Denjenigen Studierenden aber, welche sich eingehend mit der Physik beschäftigen müssen, kann es das Lehrbuch der praktischen Physik von F. Kohlrausch nicht ersetzen. *Henning.*

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, W. Breithaupt in Cassel, M. Edelmann in München, P. Guthnick in Neubabelsberg, O. Günther in Braunschweig, W. Haensch in Berlin, E. v. Hammer in Stuttgart, K. Haußmann in Berlin, W. Hildebrand in Freiberg i. S., E. Kohlschütter in Potsdam, H. Krüss in Hamburg, H. Ludendorff in Potsdam, O. Lummer in Breslau, H. Maurer in Berlin, W. Nernst in Berlin, C. Pulfrich in Jena, M. v. Rohr in Jena, W. Sartorius in Göttingen, R. Steinheil in München, R. Straubel in Jena, E. Warburg in Berlin, F. Weidert in Berlin, A. Westphal in Berlin, E. Wiechert in Göttingen.

Schriftleitung: F. Göpel in Charlottenburg.

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

3. Heft: März.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1923.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 800,— für Monat März 1923 bezogen werden.

Der Abonnementspreis für April beträgt M. 1600,— zuzüglich Bezugsgebühren. Über die Auslandspreise s. Beilage im Februarheft.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 1450,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30 %	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **März 1923.** Drittes Heft.

Bericht über die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1922.

Allgemeines.

Der Präsident, Wirkliche Geheime Oberregierungsrat Prof. Dr. Warburg ist am 31. März 1922 in den Ruhestand getreten. Die außerordentlichen Erfolge der 17jährigen Amtstätigkeit Warburgs, sei es als scharfsinniger, unermüdlicher Forscher oder als Schöpfer der bewährten Neuorganisation der Reichsanstalt, waren seiner großen Vorgänger würdig. *1. Personalien.*

An seine Stelle ist am 1. April 1922 der Direktor des Physikalisch-chemischen Instituts an der Universität Berlin, Geheimer Regierungsrat Prof. Dr. Nernst getreten, und zwar bis zum 15. Oktober 1922 kommissarisch, hierauf nach Ablauf seines Rektorats endgültig.

Ausgeschieden: Der Wissenschaftliche Hilfsarbeiter Dipl.-Ing. Menzel ist am 31. August 1922 in die Privatindustrie übergetreten, Oberregierungssekretär Müller am 1. April 1922 in das Reichsfinanzministerium; ferner sind ausgeschieden Techniker: Klose am 10. August 1922; die Laborantinnen Siewert und Jaene am 30. Juni 1922, Hartwig und Sbrzesny am 30. September 1922, Pirrß und Herzberg am 30. November 1922, Martens am 5. Dezember 1922, Neun, Buchholz, Delling, Treskow, Breitenfeld, Saager, Köhler, Thanheuser, am 31. Dezember 1922. Der Technische Gehilfe Grauer II trat am 1. November 1922 in den Ruhestand. Regierungsrat Dr. Hüttner ist am 29. Januar 1923 verstorben.

Neu eingetreten sind: Postdirektor Zimmermann am 2. Januar 1923 als Leiter des Verwaltungsdienstes; die Wissenschaftlichen Hilfsarbeiter Dr. Otto am 1. März 1922 sowie Dipl.-Ing. Erk am 1. April 1922 in Abteilung III, Dr. Tepohl am 1. August 1922 in das Chemische Laboratorium, Vieweg und Dr. Schröter in das Maschinenlaboratorium der Abteilung II; als freiwilliger Mitarbeiter cand. phil. Leo am 1. Mai 1922 in Abteilung Ia; Studienrat Dr. Kohlhörster im Juli 1922 in das Laboratorium für Radioaktivität, Oberpostsekretäre Fernkorn am 6. November 1922, Kyberg am 20. Januar 1923, Postsekretär Wolter am 20. Januar 1923, Telegraphensekretär Peßara am 18. Januar 1923 in Büro II und Bürohilfsarbeiter Berndt am 11. August 1922 in das Zentralbüro bzw. die Kasse; die Hilfstechniker Schmidt am 10. April 1922, Heyder am 1. Dezember 1922 in Abteilung Ib, Räther am 3. Juli 1922 in Abteilung IIIa; die Laborantinnen Harms, Fischer, Köhler, Joithe, Krüttgen am 23. Januar 1922, Thanheuser, Knebel, Lucht, Ziggel, Brune, Meier und Herta Eichner am 1. Februar 1922, Sbrzesny, Frank und Nachtigall am 15. Februar 1922 sowie der Amtsgehilfe (Angestellter) Engel am 15. Februar 1922 in Abteilung III; Bürohilfsarbeiterin Lindhorst am 7. Juni 1922 in das Zentralbüro (aushilfsweise); die Amtsgehilfen auf Probe Leipner am 1. August 1922 in Büro II, Heinitz am 19. September 1922 in das Zentralbüro; der Laboratoriumsarbeiter Gurisch am 8. Mai 1922 in Abteilung II, der Heizer Metzner am 1. Juni 1922.

Wieder eingestellt als planmäßiger Beamter wurde der Amtsgehilfe Falk vorläufig in das Chemische Laboratorium.

Planmäßig angestellt wurden: der Universitätsassistent Chemiker Dr. Noddack und der Wissenschaftliche Hilfsarbeiter Dr. Engelhardt mit Wirkung vom 1. August 1922 als Regierungsräte; die Hilfstechniker Görke, Helmbrecht, Ranacher, Zahn mit Wirkung vom 1. April 1922, Langenberg mit Wirkung vom 1. Oktober 1922 als Techniker; der außerplanmäßige Technische Gehilfe Gutowski mit Wirkung vom 1. April 1922 als Technischer Gehilfe.

Befördert wurden: Zu Oberregierungsräten die Regierungsräte Prof. Dr.-Ing. Jakob mit Wirkung vom 1. April 1920 ab, Prof. Dr. Geiger mit Wirkung vom 1. April 1922 ab; der Regierungsrat der Besoldungsgruppe X Dr. Heuse mit Wirkung vom 1. April 1922 ab zum Mitglied (Besoldungsgruppe XI); die Regierungsräte der Besoldungsgruppe X Blaschke, Reichardt und Dr. Moeller mit Wirkung vom 1. April 1922 ab nach Besoldungsgruppe XI; der Oberregierungssekretär Kirch mit Wirkung vom 1. April 1922 ab zum Regierungsinspektor; die Technischen Sekretäre W. Schön, Koch und E. Schoen mit Wirkung vom 1. April 1922 ab zu Technischen Obersekretären; die Techniker Zander, Zeidler, Lienemann, Zentgraf, Seydel und Pawelczyk mit Wirkung vom 1. April 1922 ab zu Technischen Sekretären.

2. Dienstreisen, Besichtigungen und Teilnahme an Versammlungen.

Direktor Holborn nahm am 6., 7. und 8. April 1922 in Ilmenau an einer Besprechung über Fieberthermometerprüfungen teil; ferner am 30. und 31. Oktober 1922 in Zerbst zusammen mit Oberregierungsrat Scheel an einer Versammlung der Regierungsvertreter und der Leiter der Prüfämter für Fieberthermometer als Vertreter der Reichsanstalt.

Oberregierungsrat Scheel besichtigte vom 17. bis 21. Dezember 1922 die Prüfämter für Fieberthermometer in Ilmenau und Gehlberg.

Oberregierungsrat Gehrcke und Techniker Triloff besichtigten am 31. Juli 1922 in Hamburg ein der Reichsanstalt zum Geschenk überwiesenes Kochsches Registrier-Mikrophotometer zwecks Abnahme.

Oberregierungsrat v. Steinwehr nahm am 11. Januar 1922 teil an einer Sitzung des Metallwirtschaftsbundes in Frankfurt a./M.

Oberregierungsrat Grützmacher besichtigte vom 30. Januar bis 11. Februar 1922 die Thermometer-Prüfungsanstalten in Ilmenau, Gehlberg und Geschwenda.

Oberregierungsrat Jakob vertrat die Reichsanstalt bei der Sitzung des wirtschaftlichen Beirats des Vereins deutscher Ingenieure am 28. Januar 1922 und bei der Sitzung des vom deutschen Verbande für Materialprüfungen der Technik eingesetzten Ausschusses zur Vereinheitlichung des Verfahrens zur Prüfung der Wärmeleitfähigkeit am 27. Januar 1922. Er nahm ferner teil an der Sitzung am 27. April 1922 des Ventilatoren- und Kompressorenausschusses des Vereins deutscher Ingenieure und an Sitzungen des Normenausschusses, u. a. als dessen Vertreter bei den Verhandlungen über die Thermometer für Handelsschiffahrt.

Oberregierungsrat Günther-Schulze besichtigte auf einer Dienstreise vom 4. bis 14. Mai 1922 Quecksilber-Großgleichrichter der Allgemeinen Elektrizitätsgesellchaft in Prag, Preßburg und St. Pölten bei Wien.

Oberregierungsrat Giebe nahm als Vertreter der Reichsanstalt an den Arbeiten der Kommission für Hochfrequenz des Verbandes Deutscher Elektrotechniker teil.

Oberregierungsrat Schering vertrat die Reichsanstalt in den folgenden Ausschüssen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker: Kuratorium der Prüfstelle für Isolierteile, Isolierstoffkommission (Sitzungen außerhalb Berlins am 20. und 21. April 1922 in Nürnberg und vom 25. bis 27. September 1922 in Dortmund, mit Besichtigung chemischer, Zechen- und Hüttenbetriebe im Hinblick auf die dort eingebauten elektrischen Isolierstoffe), Hauptausschuß für den dielektrischen Sicherheitsgrad (in Eisenach am 4. Oktober 1922), Unterausschuß für den dielektrischen Sicherheitsgrad bei Kabeln, Kabelmuffen und Endverschlüssen, Unterausschuß für Prüfmethoden an Isolierstoffen, Unterausschuß für Prüfmethoden bei Hochspannungskabeln, Kommission für Schwachstrombeeinflussung, Kommission für Zähler.

Ferner beteiligte er sich im Aluminiumausschuß der Gesellschaft für Metallkunde. Den Kurzschlußversuchen, die die Höchstspannungs-Studiengesellschaft in Piesteritz ausführte, wohnte er am 4. und 5. sowie am 8. und 9. Dezember 1922 bei.

An diesen Versuchen war auch der Wissenschaftliche Hilfsarbeiter Dr. Burmester vom

28. November bis 14. Dezember 1922 mit der Messung dielektrischer Verluste an überlasteten Kabeln beteiligt.

Regierungsrat Schmidt vertrat die Reichsanstalt bei der Sitzung der Kommission für Meßgeräte des Verbandes Deutscher Elektrotechniker am 10. und 11. Januar 1922 in Frankfurt a./M., auf der Jahresversammlung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker vom 28. bis 31. Juli in München. Er besichtigte das Elektrische Prüfamt 6 in Frankfurt a./M. am 12. Januar 1922, das Elektrische Prüfamt 3 in München am 1. Juni 1922. Wiederholt nahm er ferner teil im dienstlichen Auftrage an den Sitzungen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker und zwar des Beirats der Prüfstelle, der Kommission für Meßgeräte und der Kommission für Zähler.

Regierungsrat Vieweg besichtigte am 3. und 4. Juni 1922 die Versuchstände der Berlin-Anhaltischen Maschinenbauaktiengesellschaft in Dessau und nahm daselbst an den Verhandlungen des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung über Lagerversuche teil. Er nahm teil vom 7. bis 10. Juni 1922 an der Tagung des Vereins Deutscher Chemiker in Hamburg und am 4. Juli an der Tagung der Gesellschaft für Braunkohlen- und Mineralölforschung in Berlin. Ferner vertrat er die Reichsanstalt bei den Sitzungen des Ausschusses für Lagerversuche beim Verein Deutscher Maschinenbauanstalten, des Ausschusses für technische Ölverwendung und des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung beim Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit in Industrie und Handwerk.

Regierungsrat Scheld vertrat die Reichsanstalt in der Sitzung der Kommission für Fernmeldeanlagen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker am 16. März 1922 in Magdeburg.

Regierungsrat Behnken beteiligte sich an der 13. Tagung der Deutschen Röntgengesellschaft vom 23. bis 25. April 1922 in Berlin.

Regierungsrat Bothe vertrat die Reichsanstalt auf der Hauptversammlung der Deutschen Bunsengesellschaft in Leipzig vom 20. bis 23. September 1922.

Außerdienstlich besuchten die Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Leipzig vom 20. bis 23. September 1922 Präsident Nernst, Oberregierungsräte Scheel, Gehrcke, Henning, Geiger; Regierungsräte Alberti und Bothe; Wissenschaftliche Hilfsarbeiter Zickner und Ebert.

3. Veröffentlichungen.

Die Veröffentlichungen von Beamten der Reichsanstalt sind im Anhang 1 aufgeführt. Von den „Wissenschaftlichen Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt" wurde durch Oberregierungsrat Günther-Schulze im Jahre 1922 das 2. Heft von Band V ausgegeben. Band V, der die Veröffentlichungen des Jahres 1921 umfaßt, enthält 35 Abhandlungen. Heft 1 von Band VI wird im Januar 1923 erscheinen.

4. Bibliothek.

Die Hauptbibliothek wurde durch den Oberregierungsrat Günther-Schulze verwaltet, der darin durch Frl. Gröpler unterstützt wurde. Die Beschaffung der ausländischen Zeitschriften bereitete im letzten Jahre noch größere Schwierigkeiten als zuvor, da ihre Bestellung wegen der Valutaverhältnisse nicht in Frage kam. Soweit wie irgend möglich, wurde versucht, die Zeitschriften im Austausch gegen die „Wissenschaftlichen Abhandlungen" oder auch durch die „Zeitschrift für Instrumentenkunde" zu erhalten. Leider hatten diese Bestrebungen im wesentlichen nur in Amerika Erfolg, wo sich sowohl das *Bureau of Standards* als auch Herr Prof. Adams der Wünsche der Reichsanstalt mit großer Freundlichkeit und großem Erfolge annahm. Den Bezug des *Philosophical Magazine* verdankt die Reichsanstalt Herrn Prof. Oseen in Upsala, der es ihr kostenlos zur Verfügung stellte. Auch die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft leistete durch Überlassung sonst nicht erhältlicher Zeitschriften wertvolle Hilfe.

Leider gelang es nicht, die für die Reichsanstalt wichtige Zeitschrift *The Electrician* zu beziehen, da eine Bestellung wegen der hohen Kosten nicht in Frage kam und ein Austausch sich nicht erreichen ließ.

Die Katalogisierung der Bücher der Bibliothek wurde vervollkommnet. Die Titel der Bücher sämtlicher Sonderbibliotheken wurden in den alphabetischen Zettelkatalog der Hauptbibliothek eingefügt. Ferner wurde ein Sachkatalog in Buchform neu angelegt, der sämtliche Bücher der Reichsanstalt enthält.

5. Sitzungen der wissenschaftlich. Beamten. Das Kolloquium der Reichsanstalt hat im Berichtsjahre wieder innerhalb der Dienststunden stattgefunden.

6. Benutzung des Zweiglaboratoriums auf dem Telegraphenberge bei Potsdam. In dem Laboratorium auf dem Telegraphenberge setzte Oberregierungsrat Schönrock die Strahlungsmessungen fort.

Abteilung I.

Unterabteilung Ia.

7. Bestimmung der Konstanten σ[1]. Bei den früheren vergleichenden Temperaturmessungen nach dem Wien-Planckschen Gesetz und dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz hatte die Variierung der Bolometerentfernung einen stärkeren Abfall der Gesamtstrahlung ergeben, als gemäß dem Quadrat der Entfernung zu erwarten war[2]. Es gelang damals nicht, festzustellen, ob diese Abweichung, die bei 1063° C Strahlertemperatur 1,4% in der Intensität (+ 6,8‰ bzl. der Entfernung) ausmachte, a) durch die radialen Temperaturungleichheiten des Ofenblocks oder b) durch Wasserdampf- oder Kohlensäureabsorption oder c) durch Beugung der längeren Wellenanteile verursacht wurde. Da die im Gange befindlichen Absolutmessungen der Gesamtstrahlung durch jene unbekannten Fehlerquellen in viel höherem Grade beeinflußt werden als die Relativmessungen der radiometrischen Temperaturbestimmung, erschien es vor Ausführung der definitiven σ-Messungen dringend geboten, zunächst hierüber Klarheit zu gewinnen.

Als Meßanordnung wurde der gleiche große Lummer-Kurlbaum-Strahler, auf Goldschmelzpunkttemperatur erhitzt, und die gleiche Bolometeranordnung, wie früher zur Temperaturbestimmung nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz benutzt, verwendet; einerseits, um gleichzeitig für die früheren und späteren radiometrischen Temperaturmessungen zuverlässige Grundlagen zu erhalten, andererseits, weil dies radial wenig ausgedehnte Bolometer bei dem verfügbaren kleinen Ofenwinkel eine weitgehendere Abstandsvariierung zuließ als der Streifempfänger der σ-Anordnung. Durch Verlegung des Aufbaues aus dem Observatorium in ein Laboratorium mit thermisch und magnetisch günstigeren Verhältnissen ließ sich die Genauigkeit wesentlich steigern. Kompensationsmessung nach Warburg-Leithäuser und Sektorenschwächung ergaben bei allen Abständen bis auf weniger als 1‰ gleiche Resultate.

Um zunächst die Fehlerquelle a) auszuschalten, wurde die kühlere Ofenblockmitte von rückwärts her durch eine kleine Platinfolie-Hilfsheizung erhitzt. Es gelang so, innerhalb der strahlenden Blockteile die Unterschiede auf 0,4° und axial innerhalb der „schwarzen" Kammer auf 0,9° herabzudrücken. Ein wesentlicher Einfluß auf die Intensitätsabnahme mit der Entfernung wurde indes hierdurch nicht erzielt. Die Prüfung auf eventuelle Wasserdampf- und CO_2-Absorption erfolgte durch Einschalten einer abwechselnd mit Zimmerluft von 40% rel. Feuchtigkeit bzw. mit trockner, CO_2-freier Luft gefüllten Kammer in den Strahlengang. Es ergab sich, daß etwa die Hälfte der obigen Abweichungen vom Entfernungsgesetz durch Wasserdampfabsorption bedingt war. Da Strahlung von 1400° C, weil kurzwelliger, geringere Wasserdampfabsorption erfährt und die frühere Prüfung des Entfernungsgesetzes bei 1400° C in der Tat geringere Abweichungen als bei 1063° C ergab, dürften die damals nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz erhaltenen c_2-Werte, wie vermutet, ein wenig zu niedrig sein. Für die Messung der Gesamtstrahlung ergibt sich hieraus die Notwendigkeit, auch bei der Goldschmelzpunkttemperatur den Feuchtigkeitsgehalt der eventuell durchstrahlten Luftschicht zu eliminieren.

Zur Feststellung eventueller Beugung und Ermittlung des für die σ-Bestimmung zulässigen kleinsten Strahlungsdiaphragmas wurde das Entfernungsgesetz bei Strahlungsdiaphragmen von verschiedenem Durchmesser für Goldschmelzpunktstrahlung eingehend geprüft. Es ergab sich, daß bei den mittels des Stefan-Boltzmannschen Gesetzes aufgenommenen Versuchsreihen der c_2-Arbeit von Warburg und Müller, bei denen mit einem 10 mm-Diaphragma und kleinem Bolometerabstand gearbeitet wurde, merkliche Temperaturfehler durch Beugung unwahrscheinlich sind, daß hingegen ein 6 mm-Diaphragma — im Einklang mit den bei kleinen Diaphragmen gefundenen

[1]) C. Müller.

[2]) E. Warburg u. C. Müller, *Ann. d. Phys.* **48.** *S. 417, 424, 1915.*

niedrigen c_2-Werten — bei den fraglichen Abständen bereits nicht zu vernachlässigende Abbeugungen der Goldschmelzpunktstrahlung ergibt.

Weitere Versuchsreihen betrafen den Einfluß der zwischen Empfänger und Strahlungsdiaphragma stehenden Blenden. Es zeigte sich, daß ein kleiner Teil der nach Abzug der Wasserdampfabsorption verbleibenden Abweichungen vom Entfernungsgesetz durch Reflexionen an den berußten mehrfachen Zwischenblenden verursacht wurde, die besser durch wenige Sammetblenden ersetzt werden; daß der größere Teil aber durch eine geringe, verschieden ausgedehnte Aufheizung der Bolometerblende selbst bedingt wurde, die sowohl bei Ersatz ihrer Berußung durch blanke Metallflächen, wie durch wärmeundurchlässigen Sammetüberzug verschwand. Nach Berücksichtigung aller dieser Faktoren überschritten die Abweichungen vom Entfernungsgesetz die Einstellfehler nur noch um wenige Promille, so daß für die σ-Messungen nunmehr genügend gesicherte Grundlagen gewonnen sein dürften.

8. Lichteinheit[1].

Versuche über die von E. Warburg vorgeschlagene Lichteinheit waren im Berichtsjahre noch nicht möglich, da bei der Osramgesellschaft an dem hierfür gestifteten Vakuumofen die Heizversuche bei den hohen Temperaturen infolge starker fabrikatorischer Überlastung noch nicht zu Ende geführt werden konnten. Die für die lichtelektrischen Messungen erforderliche Batterie größerer Kapazität ist beschafft und, mit mehrfachen Spannungsteilern versehen, sorgfältig isoliert aufgestellt worden, um beliebige lichtelektrische Brückenschaltungen benutzen zu können. Die Batterie soll gleichzeitig für das in der Reichsanstalt aufzustellende Koch-Goossche Registrierphotometer sowie zu anderen lichtelektrischen Untersuchungen benutzt werden.

9. Steigerung der Flächenhelle bei Wolframbogenlampen[2])

Zur Herabsetzung der Trägheitsreste bei registrierenden Photometern ist eine konstante Lichtquelle möglichst hoher Flächenhelle von geringer Ausdehnung erwünscht, ebenso für spektrometrische Arbeiten und Projektionsapparaturen. Die in Deutschland durch die Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung (Osramgesellschaft) gefertigten Wolframbogenlampen mit glühender Wolframkugel zeigen in dieser Richtung bereits einen Fortschritt gegenüber den Nitraspiraldrahtlampen, doch stellen sie noch nicht das hiermit erreichbare Emissionsmaximum dar, da das Emissionsvermögen des Wolframs nur etwa $^1/_2$ ist. Auf Grund dieser Erwägungen wurde der Osramgesellschaft vorgeschlagen, für Spaltbeleuchtung Wolframelektroden mit eingeschliffener „schwärzender" Rinne einzubauen, bzw. bei Lampen für Projektionsbeleuchtung den wirksamen Oberflächenteil durch Hohlraumbildung derart zu „schwärzen", daß hohe Emissionssteigerung für einen möglichst großen Winkel eintritt, jedoch die Durchheizung der Wolframelektrode durch die Oberflächengliederung nicht beeinträchtigt wird. Eine hiernach auf Veranlassung von Herrn Dr. Skaupy durch die Studiengesellschaft gebaute Wolframbogenlampe für Spaltbeleuchtung ergab bei ihrer Photometrierung, je nach dem ausgenutzten Öffnungswinkel und der Strahlungsrichtung im Einschnitt, eine Erhöhung der Flächenhelle um 60—75 % gegenüber dem glatten Oberflächenteil, entsprechend 80—87 % der bei voller Schwärze erreichbaren und im Einklang mit mikropyrometrischen Temperaturmessungen an der gleichen Elektrode durch die Herren Henning und Heuse. Da eine derartige lokale Schwärzung zugleich eine wesentliche Verbesserung des Wirkungsgrades, bezogen auf die nutzbare Richtungsstrahlung, ergibt, ist die Durchführung dieses Gedankens auch für Projektionslampen in Aussicht genommen.

10. Lichtelektrische Photometermethode[3]).

Die für den Anschluß sekundärer Lampennormale bisher in Vorschlag gebrachten lichtelektrischen Meßmethoden ergaben wegen der Veränderlichkeit und der Ermüdungserscheinungen der lichtelektrischen Zellen und des großen Einflusses der Zellen-Batterieschwankungen, zumal in Fabrikationslaboratorien, auf die Dauer noch unbefriedigende Resultate. Es wurde deshalb auf Anregung von Prof. v. Pirani eine auf der Temperatureinstellung nach Crova aufgebaute lichtelektrische Photometerbrückenschaltung ausgearbeitet, bei welcher Veränderungen der Zellen und Spannungen herausfallen. Die Apparatur hierfür ist in der Osramgesellschaft in Bau.

---

[1]) C. Müller.
[2]) C. Müller.
[3]) C. Müller.

11. Balmerserie bei tiefer Temperatur[1]) Die Messungen der Dublettabstände der **Balmer**linien mit einer in flüssige Luft getauchten Entladungsröhre, welche Linienschärfen ergab, wie man sie an der **Balmer**serie sonst nicht beobachtet, wurden beendet. Die Feinstrukturkonstante ist $\Delta\nu = 8{,}8 \cdot 10^9\,\mathrm{sek}^{-1}$, also um etwa 20% kleiner als nach der relativistischen Theorie von **Sommerfeld**. (Veröffentlicht s. Anhang Nr. 4.)

12. Feinstruktur von Heliumlinien[2]). Im Anschluß an die Untersuchung der Feinstruktur der **Balmer**-Serie ist die Feinstruktur der **Fowler**-Serie des Heliums begonnen worden. Die bisherigen Aufnahmen ergaben, daß, wie auch bei der **Balmer**-Serie, die experimentell gefundenen Zahlenwerte für die Differenzen der Schwingungszahlen von den von **Sommerfeld** berechneten abweichen. Der experimentell gefundene Wert beträgt für die Hauptkomponenten von λ 4686 20% weniger, als er nach der Theorie sein müßte. Dies ist derselbe Unterschied, der auch bei der **Balmer**-Serie gefunden wurde.

13. Viellinienspektrum des Wasserstoffs[1]). Das Viellinienspektrum wurde mit großem Gitter in einer Länge von etwa 1,50 m photographiert. Die **Fulcher**schen Banden in Rot und Grün konnten ergänzt werden; bemerkenswert sind einfache Zahlenverhältnisse unter den $\Delta\lambda$-Werten der Bandenlinien. Ferner wurden symmetrische Liniengruppen, die miteinander gekoppelt sind, gefunden. Breitemessungen einzelner Bandenlinien ergaben, in Bestätigung des früheren Ergebnisses, daß der Träger dieses Spektrums **nicht** ein einzelnes H-Atom, sondern ein Molekel ist. (Veröffentlicht s. Anhang Nr. 7.)

14. Methode zur Beseitigung des Atomwasserstoffs[1]). Die Träger der **Balmer**-Serie, die einzelnen dissoziierten H-Atome, stören die Erzeugung des Viellinienspektrums. Es wurde gefunden, daß metallische Oberflächen, z. B. eine durchsichtig auf der Innenwand versilberte Glasröhre, den Atomwasserstoff zu Molekülwasserstoff regenerieren. Die hiernach konstruierte Entladungsröhre zur Erzeugung des Molekelspektrums ist veröffentlicht.

15. Einfluß metallischer Oberflächen auf die Spektra Hg, Cd, He, O[3]). Im Anschluß an die Feststellung, daß metallische Oberflächen das Molekelspektrum des Wasserstoffs lichtstärker werden lassen, wurden die Spektra von Hg, Cd, He und O in Röhren mit und ohne Versilberung erzeugt. Es fand sich, daß bei Hg, Cd, O das Bandenspektrum in der versilberten Röhre stärker ist als in der unversilberten Röhre. Bei Hg trat in der unversilberten Röhre überhaupt kein Bandenspektrum auf. Bei Helium wurde kein Einfluß der Versilberung auf das Spektrum festgestellt.

16. Gruppenspektra[4]). Die zuerst beim Eisen gefundene Erscheinung von symmetrischen, miteinander gekoppelten Liniengruppen, welche auch bei Elementen W, Mo, H, Cr auftritt, gibt Anlaß, diese Spektra den bekannten Serien- und Bandenspektren als eine besondere Art von Spektren, Gruppenspektra, gegenüberzustellen. Zur Erklärung können **Stark**-Effekt und **Zeeman**-Effekt durch das eigene Kraftfeld des leuchtenden Atoms herangezogen werden. S. Anhang Nr. 6.

Unterabteilung Ib.

17. Photometrische Prüfungen[5]). Nachstehende Tabelle enthält die im Jahre 1922 ausgeführten photometrischen Prüfungen:

49 (37)[6]) beglaubigte Hefnerlampen, davon
- 7 (3) mit Visier,
- 17 (18) mit optischem Flammenmesser,
- 23 (11) mit Visier und optischem Flammenmesser,
- 2 (5) mit Visier, optischem Flammenmesser und Ersatzdochtrohr;

57 (40) Kohlenfadenlampen als Normallampen für photometrische Zwecke;

253 (335) Metallfadenlampen, davon
- 203 (235) als Normallampen für photometrische Zwecke,
- 50 (46) in Dauerprüfung mit im ganzen 15803 (35765) Brennstunden;

1 (2) Metallreflektor für elektrische Glühlampen;

1 (0) Beleuchtungseinrichtung für elektrische Glühlampen;

3 (0) Gasglühlichtkörper, davon 2 stehend und 1 hängend, in Dauerprüfung mit im ganzen 3000 Brennstunden.

---

1) **Gehrcke** und **Lau**.
2) **Leo**.
3) **Janicki**, **Lau**.
4) **Gehrcke**.
5) **Brodhun**, **Liebenthal**.
6) Die in Klammern gesetzten Zahlen beziehen sich auf das Jahr 1921.

Die Zahl der Prüfungen hat sich ungefähr in denselben Grenzen wie im Vorjahre gehalten; jedoch war ein Teil der Prüfungen besonders zeitraubend.

Die Zahl der zu Normallampen für photometrische Zwecke bestimmten Kohlenfadenlampen hat sich noch weiter vergrößert (57 gegen 40 im Jahre 1921 und 16 im Jahre 1920). Bemerkenswert ist ferner, daß von den als Normallampen geprüften Metallfadenlampen weit mehr als im Vorjahr (113 gegen 51) auf mittlere räumliche Lichtstärke untersucht wurden. Einen besonderen Zeitaufwand erforderte die Prüfung der Spiraldrahtlampen mit ringförmig nahezu senkrecht zur Lampenachse angeordnetem Faden. Die räumliche Lichtverteilung dieser Lampen war nämlich mehr oder minder großen zeitlichen Schwankungen, besonders in der Nähe der Horizontalen unterworfen, so daß die Lampen nicht nur bei der ersten, sondern auch bei der zweiten zur Prüfung der Konstanz dienenden Messung auf räumliche Lichtverteilung untersucht werden mußten.

Von den Normallampen waren 55 für das Ausland (Holland, Japan, Österreich, Portugal, Schweden und Schweiz) bestimmt.

In Dauerprüfung wurden Metallfadenlampen in ungefähr gleicher Zahl wie im Vorjahr genommen; jedoch hat der Gesamtbetrag der Brennstunden erheblich abgenommen, weil die Prüfungen wegen der hohen Stromkosten früher als sonst abgebrochen werden mußten.

Bemerkenswert sind die 27 von ein und derselben Firma eingesandten regenerierten Lampen verschiedener Spannung, Lichtstärke, Fadenanordnung und Herkunft, welche bei den auf ihnen verzeichneten Spannungen in eine kurze Prüfung bis zu 100 Brennstunden genommen und am Anfang, sowie am Ende auf mittlere räumliche Lichtstärke gemessen wurden. Ein Teil der Lampen hatte vor der Einsendung angeblich schon 432 Stunden gebrannt. Die Lampen erwiesen sich untereinander im wesentlichen als gleichwertig; die Leistung für 1 HK mittlere räumliche Lichtstärke betrug durchschnittlich 1,4 Watt.

Von den drei Gasglühlichtkörpern wurden die beiden stehenden unter Benutzung von Auerbrennern der Reichsanstalt, der hängende mittels eines mitgelieferten Brenners einer Dauerprüfung bis zu 1000 Brennstunden unterzogen. Bei beiden Glühkörperarten betrug der stündliche Verbrauch auf 1 HK mittlere räumliche Lichtstärke rund 2,5 l.

18. Abhängigkeit der Hefnerlampe vom Luftdruck[1].

Eine kürzlich veröffentlichte Abhandlung von Boltzmann und Basch über die Abhängigkeit der Hefnerlampe vom Luftdruck (*Wien. Ber., Math.-naturw. Klasse, Abt. IIa, 131. Bd., 1. Heft. 1922*) gab Veranlassung zu einer kritischen Behandlung der bisher auf diesem Gebiet erschienenen Arbeiten.

Die Reichsanstalt hatte in den Jahren 1893 bis 1895 gefunden, daß innerhalb des in Charlottenburg herrschenden Luftdruckbereiches 735 bis 775 mm einer Änderung des Luftdruckes um 10 mm eine in gleichem Sinne erfolgende Änderung der Lichtstärke um 0,0011 HK entspricht. Nachprüfungen durch Paterson (1907), sowie Rosa und Crittenden (1914) bei den natürlichen Luftdruckschwankungen ergaben die Werte 0,002 bzw. 0,0014 HK; Ott (1915) fand bei Messungen in einem Druckbehälter für den Druckbereich 816 bis 717 mm die Zahl 0,0011 HK. Dagegen erhielten Butterfield, Haldane und Trotter (1911) aus Versuchen in einem Druckbehälter für das Gebiet 850 bis 700 mm den Wert 0,004 HK, ferner Boltzmann und Basch aus Messungen an Orten verschiedener Höhe für das Gebiet 749 bis 605 mm die Zahl 0,0043 bzw. (mit anderen Korrektionen für Feuchtigkeit und Kohlensäuregehalt) 0,0039 HK.

In einer demnächst erscheinenden Arbeit wird gezeigt, daß die bisherigen Unstimmigkeiten durch geeignete Auswertung des Beobachtungsmaterials wesentlich vermindert, zum Teil ganz beseitigt werden.

19. Ulbrichtsche Kugel[2].

Die Ulbrichtsche Photometerkugel enthält bekanntlich eine Reihe von Fehlerquellen, die zwar für die meisten, besonders die technischen Messungen gewöhnlich nicht in Betracht kommen, für die genauen Normallampen-Messungen aber eine Rolle spielen können. Diese Fehlerquellen sind für die Verhältnisse, unter denen die Kugel in der Reichsanstalt benutzt wird, experimentell zahlenmäßig festgestellt worden. Insbesondere wurde der Fehler untersucht, der bei Lampen ver-

---

[1]) Liebenthal.

[2]) Brodhun.

schiedener Lichtverteilung dadurch entstehen kann, daß der Auffangschirm, der das Licht der Kugelwand aufnimmt, nicht streng dem Lambertschen cos-Gesetz folgt. Die Messungen sind noch nicht abgeschlossen.

20. Leuchtmittelsteuergesetz[1]. Für Steuerbehörden sind von der Reichsanstalt 20 (36) Metallfadenlampen, 12 (0) Kohlenfadenlampen, sowie 6 (0) Paar Kohlenstifte (diese auf Vorhandensein von Leuchtzusätzen) geprüft worden. Außerdem war ein Gutachten zu erstatten. Von den elektrischen Prüfämtern sind nach dem letzten Jahresbericht für die Zeit vom 1. Mai 1921 bis zum 30. April 1922 im ganzen 42 Metallfadenlampen untersucht worden, und zwar 30 (0) vom Prüfamt München und 12 (63) vom Prüfamt Frankfurt a./M.

21. Prüfungen von Objektiven und Apparaten[2]. Von 20 (0) photogrammetrischen Objektiven ist für volle Öffnung die Brennweite, die Schnittweite und die Verzeichnung gemessen worden, letztere für unendlich großen Objektabstand und einen halben Bildwinkel von 15°, 20° und 25°. Bei einem Teil dieser Objektive wurde außerdem die Verzeichnung für einen Objektabstand von 2 m und die gleichen Winkel festgestellt. Die erforderlichen Winkelmessungen wurden mit dem großen Spektrometer ausgeführt. Das zu untersuchende Objektiv wurde dazu so auf dem Spektrometertisch befestigt, daß die Teilkreisachse durch den vorderen Linsenscheitel ging, während in der Brennebene, bzw. in der Bildebene für 2 m Objektabstand ein Millimetermaßstab angebracht war. Eine gewisse Unsicherheit der Messungen entstand durch die Mängel der Abbildung außerhalb der Achse, insbesondere bei den größeren Bildwinkeln.

An 10 (0) Mikroskop-Objektiven wurde die Brennweite und die numerische Apertur bestimmt, an 2 (0) Mikroskopen die Vergrößerung für mehrere Okulare und Objektive.

Bei einem eingelieferten Monochromator für ultraviolettes Licht sollte die Homogenität des damit ausgeblendeten Lichtes für verschiedene eingestellte Wellenlängen und vorgeschriebene Spaltbreiten untersucht werden. Als Lichtquelle wurde Quecksilber- und Bogenlicht benutzt. Die spektrale Zusammensetzung des aus dem Monochromator austretenden Lichtes wurde mit Hilfe eines Quarzspektrographen festgestellt, dessen Spalt mit dem Austrittsspalt des Monochromators gekreuzt war.

Durch Erwerb einer mikroskopischen Einrichtung von Zeiss mit optischer Bank, selbstregulierender Bogenlampe und zahlreichen anderen Zubehörteilen ist das Laboratorium um ein wertvolles Stück bereichert worden. Die Einrichtung hat bei den vorerwähnten Mikroskopprüfungen bereits gute Dienste geleistet.

22. Lichtstärke von Fernrohren[2]. Als Lichtstärke (relative Helligkeit) eines (astronomischen, terrestrischen, Prismen-) Fernrohrs wird gewöhnlich das Quadrat des Durchmessers der Austrittspupille, gemessen in Millimeter, angegeben. Dabei wird stillschweigend angenommen, daß der Lichtverlust durch Reflexion und Absorption im Innern des Fernrohrs zu vernachlässigen oder wenigstens für alle verglichenen Fernrohre gleich sei. Es ist aus älteren Messungen und Rechnungen bekannt, daß der Lichtverlust in einem Galiläischen Fernrohr etwa 20%, in einem Prismenfernrohr mit Porroprismen etwa 40% beträgt. Auf Antrag ausgeführte Prüfungen der Lichtdurchlässigkeit von Prismenfernrohren gaben Veranlassung, eine Anzahl solcher Fernrohre verschiedener Herkunft und Bauart auf ihre Lichtdurchlässigkeit zu untersuchen.

Die Messungen bezogen sich zunächst auf den mittleren Teil des Gesichtsfeldes und zwar erstens auf die Unterschiede in der Helligkeit, die durch verschiedene Größen der Porroprismen, also durch verschiedene Glas-Weglängen der Strahlen entstehen, zweitens auf diejenigen Unterschiede, die sich durch eine Verringerung der Anzahl der Prismenflächen (z. B. durch Verkitten) ergeben, drittens auf die Verringerung der Lichtstärke, die entsteht, wenn die Kathetenflächen nicht alles Licht total, sondern infolge zu niedrigen Brechungsvermögens teilweise nur partiell reflektieren (erkennbar an dunklen Segmenten der Austrittspupille).

Weitere Versuche erstreckten sich auf die Abnahme der Helligkeit des Gesichtsfeldes nach dem Rande zu. Im idealen Falle sollte bei einem Fernrohr mit positivem Okular das durch die

---

[1]) Brodhun, Liebenthal.

[2]) Brodhun, Wetthauer.

Gesichtsfeldblende begrenzte Gesichtsfeld keinen wesentlichen Helligkeitsabfall nach dem Rande besitzen. Tatsächlich ist aber unter voller Ausnutzung der Austrittspupille bei den gebräuchlichen Prismenfernrohren meist die Helligkeit nur in dem mittleren Teil des Gesichtsfeldes nahezu konstant und nimmt nach dem Rande mehr oder weniger beträchtlich ab. Diese Abnahme ist je nach der Bauart sehr verschieden und betrug bei einigen der untersuchten Ferngläser bis zu 80%.

Die erforderlichen Flächenhelle-Messungen wurden unter Benutzung von zwei verschiedenen Versuchsanordnungen mit einem Universalphotometer ausgeführt. Bei der einen wurde die Helligkeit einer diffus leuchtenden Fläche einmal direkt und zweitens nach Zwischenschaltung des Fernrohrs photometriert, bei der zweiten wurde das von einer sehr hellen, diffus leuchtenden Fläche ausgehende Licht zunächst auf eine andere, der Netzhaut des Auges entprechende diffus zerstreuende Fläche ohne und mit dazwischengefügtem Fernrohr projiziert und deren Helligkeit dann photometriert.

23. Prüfung von Quarzplatten[1].

Während des Jahres 1922 wurden 15 Saccharimeter-Quarzplatten zur Prüfung eingesandt, von welchen 11 den an Saccharimeterquarze zu stellenden Anforderungen genügten. Die 4 übrigen waren für saccharimetrische Zwecke nicht geeignet, und zwar zwei wegen nicht genügender optischer Reinheit, eine wegen zu großen Winkels zwischen optischer Achse und Plattennormale, und eine von etwa — 12° Ventzke, weil sie aus zwei zusammengekitteten Platten bestand. In diesem Falle ist nämlich zu befürchten, daß das Eintrocknen des Kittes Spannungen und somit kleine Drehungsänderungen der Platten mit der Zeit verursacht. Aus diesem Grunde wird für zwei Platten, die zusammen benutzt werden sollen, um eine geringe Drehung zu erzielen, ein Prüfungsschein nur dann ausgestellt, wenn sie einzeln gefaßt sind.

24. Saccharimetrie[1].

Gemeinschaftlich mit dem Institut für Zucker-Industrie (des Vereins der Deutschen Zucker-Industrie) sind von neuem Untersuchungen zur Aufklärung der Frage nach der Richtigkeit des Hundertpunktes der Saccharimeter begonnen worden. Nachdem es dem Institut gelungen war, ein Verfahren aufzufinden, das Invertzucker (eine der Hauptverunreinigungen des Zuckers) noch in Mengen von etwa 0,002% neben Saccharose mit Sicherheit nachzuweisen gestattet, sollte eine Reihe möglichst asche- und invertzuckerfreier Saccharoseproben, die aus Raffinaden verschiedener Herkunft dargestellt worden sind, auf ihr Drehvermögen mit größter Genauigkeit in der Reichsanstalt geprüft werden. Aus den Raffinaden werden die möglichst chemisch reinen Saccharoseproben durch ein- oder mehrmaliges Ausfällen mit Alkohol gewonnen, wobei die Fällung so geleitet wird, daß sich die Saccharose nicht erst amorph, sondern sofort als feinstes Kristallmehl ausscheidet.

Bis jetzt sind die Drehungen von fünf solcher Saccharoseproben gemessen worden. Diese wurden im Vakuum über $CaCl_2$ getrocknet und nunmehr für die Rechnung als „reiner Zucker" betrachtet; es wurden also für den Gehalt an Asche (unter 0,004%) und Invertzucker (unter 0,002%) keine Korrektionen angebracht. Besitzen die mit den Saccharoseproben hergestellten Normalzuckerlösungen (26,000 g Zucker, in Luft mit Messinggewichten gewogen, bei 20° C. in 100 ccm) für Natriumlicht (durch Verflüchtigung gegossener Sodastangen im Linnemannschen Leuchtgas-Sauerstoffgebläse ohne Abtropfen von Soda hergestellt und spektral gereinigt) die spezifische Drehung $[\alpha]^{D}_{20}$ und für die grüne Hg-Linie 5461 die Drehung $[\alpha]^{Hg}_{20}$, so ergaben sich für die fünf Zuckerproben die folgenden Werte:

$$[\alpha]^{Hg}_{20} = 78{,}275; \quad 78{,}307; \quad 78{,}274; \quad 78{,}300; \quad 78{,}309$$

und (übereinstimmend mit den früheren Beobachtungen der Reichsanstalt) im Mittel

$$[\alpha]^{D}_{20} : [\alpha]^{Hg}_{20} = 0{,}84940$$

mit einer Sicherheit von etwa $\pm \, ^1/_{10000}$ der Beträge. Weitere Saccharoseproben sollen noch untersucht werden.

25. Lichtbrechung von Quarz[1].

Die Durchmessung der Dispersion des Quarzes für ultrarote Strahlen bis 2,9 μ im Zweiglaboratorium auf dem Telegraphenberg bei Potsdam ist dem Abschluß nahe; es bleiben noch vier

---

[1]) Schönrock.

Punkte der Dispersionskurve festzulegen. Alle Messungen lieferten überaus genaue Werte für die Minimalablenkungen mit zufälligen Beobachtungsfehlern von nur Bruchteilen einer Bogensekunde. Als Beispiel sei die am schwierigsten zu bestimmende Linie 0,88 μ angeführt; obwohl man sich für diese Wellenlänge bei den bolometrischen Messungen mit Galvanometer-Ausschlägen von 1,1 bis 3,8 mm zufrieden geben mußte, betrug der mittlere Fehler bei den bolometrischen Einstellungen des Spaltbildes auf den Bolometerstreifen für die einzelnen Versuchsreihen nur $\pm 0{,}37''$ bis 1,08'', und weiter die größte Abweichung der einzelnen Versuchsreihen im Einfallswinkel (zur Minimumstellung) vom Mittelwert nur 0,51''.

Die neu beobachteten Brechungsverhältnisse weichen bis zu etwa ± 3 Einheiten der 5. Dezimale von denjenigen Werten ab, welche die aus den Paschenschen Beobachtungen abgeleitete Formel von Warburg (*Ann. d. Phys.* **48.** *S. 426, 1915*) ergibt. Sicheres über den Einfluß dieser Abweichungen auf die Ergebnisse für die Konstante c des Strahlungsgesetzes läßt sich erst aussagen, nachdem die genaue Dispersionsgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet worden ist. Es ist aber ungefähr zu übersehen, daß dadurch der Gang in den c-Werten von Warburg und Müller nach der Isochromaten-Methode für Wellenlängen zwischen 0,589 und 2,173 μ und innerhalb 1336° und 1674° (abs.) nicht zum Verschwinden gebracht wird und der Mittelwert $c = 14399$ noch ein wenig, auf etwa 14406, ansteigt. Ferner läßt sich schon jetzt schließen, daß die Beobachtungen von Warburg und Müller für die Konstante c bei Temperaturbestimmung aus dem Wienschen Verschiebungsgesetz wieder einen um etwa 1% höheren Wert ergeben als bei Temperaturbestimmung nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz.

Zu den Bestimmungen dient das auch bei den früheren Strahlungsmessungen benutzte, optisch ausgezeichnet homogene Quarzprisma PTR I, 1913. Um seine chemische Zusammensetzung näher kennen zu lernen, wurden im chemischen Laboratorium Analysen von Quarzstückchen gemacht, die früher dicht am Prisma gesessen hatten, mit dem Ergebnis: 99,88% SiO_2, 0,1% K_2O (und Spuren Na_2O), 0,02% Fe_2O_3. Dagegen enthielt ein ganz anderes, optisch buntes Quarzstück nur sehr geringe Mengen von Verunreinigungen an Fe_2O_3, Al_2O_3, Alkali, Calcium und Magnesium im Gesamtbetrage von 0,02%. Eine Abhängigkeit der optischen Reinheit von der chemischen hat sich demnach nicht ergeben.

Abteilung II.

Unterabteilung IIa.

26. Kondensator und elektrisches Ventil im Wechselstromkreis[1]. Im Anschluß an eine frühere Arbeit[2], in der Induktivitäten in Verbindung mit einem Ventil und Widerständen im Wechselstromkreise untersucht wurden, ist jetzt ein Wechselstromkreis, der einen Kondensator und ein Ventil enthält, wobei z. T. parallel zum Kondensator noch ein Widerstand lag, im Hinblick auf die Grätzsche Schaltung und den Detektorkreis theoretisch und experimentell untersucht worden. Die Messungen sind noch im Gange.

27. Messung nicht sinusförmiger Wechselströme[3]. Zu den folgenden Versuchen diente ein Transformator, welcher bei 50 Perioden/sek sinusförmige Spannungen von 3000—10000 Veff. lieferte und in einem großen Ohmschen Widerstand (Jodkadmium in Amylalkohol) sinusförmige Ströme von $500 \cdot 10^{-6}$ bis $700 \cdot 10^{-6}$ A hervorbrachte. Der Effektivwert dieser Ströme wurde erstens durch ein Thermokreuz, zweitens durch einen Baretter, drittens durch die elektrometrisch gemessene Spannung an den Enden eines in die Leitung geschalteten Widerstandes bestimmt; die letztgenannte Methode setzt voraus, daß kein merklicher Teil des Stromes durch den Elektrometerzweig fließt. Alle drei Methoden lieferten für die in der beschriebenen Weise hergestellten sinusförmigen Ströme nahezu dasselbe Ergebnis; indem man das Thermokreuz in den Elektrometerzweig aufnahm, konnte man feststellen, daß die erwähnte Voraussetzung hier zutraf.

Wurde dagegen der Ohmsche Widerstand durch eine Siemenssche Ozonröhre ersetzt, so wich die Stromform stark von der Sinusform ab, und nunmehr betrug die am Thermokreuz und

---

[1] Jaeger und von Steinwehr.
[2] Jaeger, *Arch. f. Elektr.* **2.** *S. 418. 1914.*
[3] E. Warburg als Gast.

Baretter angezeigte Stromstärke das Mehrfache der von der Elektrometermethode gelieferten, mochten Quadranten und Nadel des benutzten Quadrantelektrometers in Luft oder in Benzol stehen. Thermokreuz und Baretter zeigten bei diesen Versuchen dasselbe Verhalten, wenn auch der Baretter etwas kleinere Stromstärke als das Thermokreuz angab. Es ist daraus, in Berichtigung des im vorigen Tätigkeitsbericht (*diese Zeitschr.* **42**. *S. 68. 1922*) Gesagten zu schließen, daß das Thermokreuz die effektive Stromstärke nahezu richtig angibt, und es handelt sich darum, die Ursache für das Versagen der Elektrometermethode zu finden.

In die Erdleitung der Ozonröhre wurden Widerstände von 1000 bis 500000 Ω aufgenommen. Bei großem Widerstand zeigte das Thermokreuz vor dem Widerstand, d. h. auf Seite der Ozonröhre, stärkeren Strom an, als hinter dem Widerstand, d. h. auf Seite der Erdleitung, z. B. bei 20000 Ω vorn einen 2,3mal so starken Strom als hinten, mochte man einen Rheostatendrahtwiderstand oder einen elektrolytischen Widerstand benutzen. Bei Widerständen kleiner als 2000 Ω war der Unterschied der Stromstärke vorn und hinten unbedeutend. Es wurden nun 2000 Ω in die Erdleitung der Ozonröhre aufgenommen, an die Enden dieses Widerstandes das Quadrantelektrometer gelegt und die Stromstärke im Widerstandszweig sowohl durch das in ihn gelegte Thermokreuz als auch elektrometrisch gemessen. Sie ergab sich nach dem Thermokreuz über 3 mal so groß als nach dem Elektrometer. Als aber das Thermokreuz in den Elektrometerzweig gelegt war, zeigte sich, daß in diesen ein sehr beträchtlicher Teil des Stromes hineinfloß, die Stromstärke betrug nämlich im Widerstandszweig $2800 \cdot 10^{-6}$ A, im Elektrometerzweig $2600 \cdot 10^{-6}$ A. Es ist also die Voraussetzung für die Richtigkeit der Elektrometermethode hier keineswegs erfüllt und damit das Versagen dieser Methode aufgeklärt; in quantitativer Beziehung bleibt noch einiges zu untersuchen übrig.

Eine einfache Beziehung zwischen der gelieferten Ozonmenge und der durch das Thermokreuz gemessenen effektiven Stromstärke tritt nicht hervor.

Es wurde nun in die Erdleitung der Ozonröhre ein Widerstand von 530000 Ω aufgenommen, welcher die Ozonmenge nur unbedeutend beeinflußt, und diesem Widerstand parallel ein Gleichrichter (Elektronenröhre) gelegt, dann fließt die durchgelassene Phase merklich nur durch den Gleichrichter, sie wurde galvanometrisch gemessen (I_g). Ferner wurde, nachdem der Gleichrichter außer Tätigkeit gesetzt war, die Stromstärke an einem Teil des erwähnten Widerstandes elektrometrisch gemessen (I_Q). Es ergab sich I_g proportional zu I_Q und wenig verschieden von $\frac{1}{2} I_Q$. Diese Werte stehen in einfacher Beziehung zu der gelieferten Ozonmenge. Es empfiehlt sich daher, wenn man die Gesetzmäßigkeiten bei der Ozonbildung und andere Wirkungen der stillen Entladung untersuchen will, die Stromstärke galvanometrisch, etwa durch einen Gleichrichter, zu messen.

28. Hochfrequenztelephon[1]).

Die Empfangsversuche mit der quadratischen Rahmenantenne von 2 m Seitenlänge und dem Kondensatortelephon konnten wegen der Arbeiten an der Wasserstoffverflüssigungsanlage erst im letzten Viertel des Jahres fortgeführt werden.

Für den bei nahen Stationen möglichen Empfang ohne Verstärkung ist die Schaltung nach Fig. 1 anwendbar: der Kreis I, bestehend aus der Antenne L_1, einer Kopplungsspule L_1' und einem Abstimmkondensator C_1 wirkt induktiv in günstigster Kopplung auf den Telephonkreis II, der aus Selbstinduktionsspule L_2, Kondensatortelephon C_2 und Abstimmkondensator C_2', parallel zu C_2, besteht. L_2 ist so groß zu machen, daß C_2' klein und daher die Spannung am Kondensatortelephon möglichst groß wird.

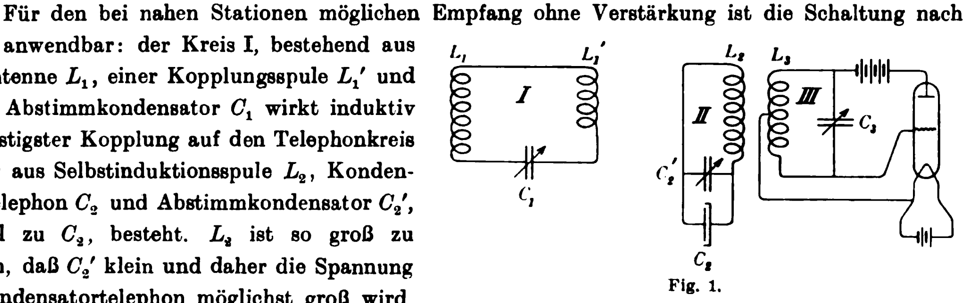


Fig. 1.

I und II sind auf die zu empfangende Welle abgestimmt. Mit II ist außerdem ziemlich fest gekoppelt der Überlagerungsröhrensender III, so daß an C_2 eine Überlagerungsspannung von einigen Hundert Volt herrscht.

Für den Empfang entfernterer Stationen mit Rahmenantenne und Kondensatortelephon ist,

[1]) Meißner.

wie auch bei anderen Empfangsmethoden, eine Empfangsverstärkung erforderlich. Nach zahlreichen Versuchen mit gebräuchlichen Hochfrequenzverstärkungsschaltungen erwies sich für den vorliegenden Zweck die Anordnung nach Fig. 2 als zweckmäßig: die Kreise II und III behalten die Schaltung nach Fig. 1. Der Hochfrequenzverstärkungskreis I ist ähnlich wie der Röhrensender von Huth geschaltet und enthält die Antenne L_1 im Gitterkreis. L_1' und L_1'' sind so lose gekoppelt, daß der Verstärker noch etwas unterhalb der Selbsterregung ist. Ohne eine gewisse Kopplung zwischen L_1' und L_1'' wirkt die Anordnung bei der skizzierten Schaltung der Heizbatterie und der Anodenbatterie nicht als Sender. Dicht vor der Selbsterregung ist bei geeigneter Größe des Heizstromes die Verstärkung eine sehr große. Zwischen L_1'' und L_2 wird günstigste Kopplung hergestellt.

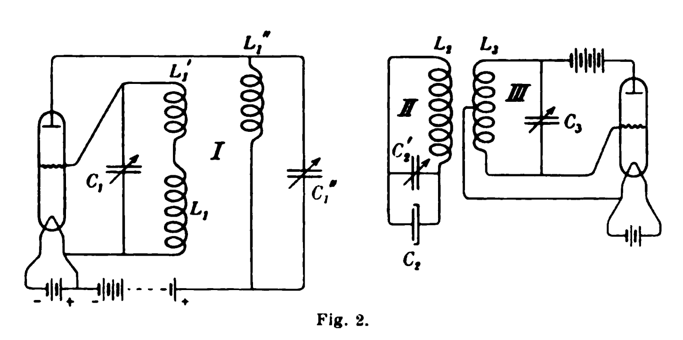


Fig. 2.

Die Empfangsmethode nach Fig. 2, die bisher besonders an der Station Eilvese (Welle 14600 m) ausprobiert wurde, hat noch folgende Mängel: Bei langen Wellen, wie sie die großen Stationen benutzen, muß L_2 größer als 0,1 Henry sein, damit C_2' nicht zu groß gegen C_2 und daher die Spannung am Kondensatortelephon C_2, das etwa 100 cm Kapazität hat, nicht zu sehr herabgedrückt wird; es ist schwierig, geeignete Spulen von nicht zu großem Widerstand zu beschaffen. Ferner muß die Kopplung zwischen II und III bei nicht zu großer Senderenergie von III fest sein, um genügende Überlagerungsspannung an C_2 zu erhalten; diese feste Kopplung bewirkt aber ein Abwandern der von I auf II übertragenen Empfangsenergie nach III. Es sind Versuche im Gange, diese Mängel nach Möglichkeit zu beseitigen.

29. Permutit[1]. Das Verfahren, das Vorhandensein bestimmter Ionenkomplexe in wäßrigen Lösungen durch ihre Einwanderung in Permutit festzustellen, das sich bei der Untersuchung von Kupfersalzen bewährt hatte, wurde auf die Chloride der zweiwertigen Metalle Ba, Sr, Ca, Mg, Zn, Cd, Mn, Co, Ni, Cu ausgedehnt. Bei den höchsten erreichbaren Konzentrationen sind bei den meisten zweiwertigen Chloriden beträchtliche Mengen MeCl-Ionen vorhanden, bei Mg, Ni, Cu treten sogar noch höhere Komplexe in größerer Menge auf.

Die erste Dissoziasionsstufe $MeCl_2 = MeCl + Cl'$ überwiegt in den konzentrierten Lösungen die vollständige Dissoziation $MeCl_2 = M\ddot{e} + Cl' + Cl'$ um so mehr, je kleiner der Ionenradius der Kationen der benutzten Metalle ist. Die erste Dissoziationsstufe tritt mit zunehmender Verdünnung der Lösung gegenüber der zweiten schnell zurück. Bei der Konzentration 1 n ist der Anteil der MeCl-Ionen bei den großen Ionen bereits so klein geworden, daß er nicht mehr nachweisbar ist. Bei den Ionen mittlerer Größe ist er eben noch merklich und nur bei den kleinsten, wie Ni und Cu, beträgt er noch etwa $^1/_3$ der gesamten Menge. Die Ergebnisse sind veröffentlicht.

30. Dielektrische Festigkeit[1]. Es sind zwei Arten der dielektrischen Festigkeit zu unterscheiden, die dielektrische Stoßfestigkeit und dielektrische Reißfestigkeit genannt wurden.

a) Theoretisches. Die dielektrische Stoßfestigkeit wird durch diejenige Feldstärke bestimmt, die in einem Dielektrikum herrschen muß, damit die in ihm vorhandenen Ionen befähigt werden, durch Ionenstoß so viel neue Ionen zu bilden, daß der Strom über jedes Maß hinaus wächst.

In einem idealen Dielektrikum sind keine freien Ionen vorhanden, in ihm werden durch das elektrische Feld die positiven und die negativen Ladungen der Atome gegeneinandor verschoben. Die dielektrische Reißfestigkeit ist diejenige Feldstärke, die erforderlich ist, um die Verschiebung der Ladung der Atome gegeneinander so weit zu treiben, daß ihr Zusammenhang zerrissen wird.

Über den Durchschlag flüssiger Dielektriken wurde die Arbeitshypothese aufgestellt, daß die sehr große Ionenreibungswärme im Dielektrikum zuerst minimale Dampfblasen erzeugt und

[1]) A. Günther-Schulze.

daß in diesen der Durchschlag infolge von Ionenstoß einsetzt, so daß der Durchschlag eines flüssigen Dielektrikums ein verkappter Gasdurchschlag ist.

Bei festen Körpern sind zwei grundsätzlich verschiedene Arten von Isolatoren zu unterscheiden, die echten Dielektriken und die Pseudodielektriken. Die echten Dielektriken sind auch in geschmolzenem Zustande nahezu Nichtleiter und enthalten nur außerordentlich wenig Ionen. Zu dieser Klasse gehören Schwefel, Wachs, Paraffin.

Die Pseudodielektriken sind in geschmolzenem Zustande vorzügliche Leiter, die fast völlig in Ionen dissoziiert sind. Beim Erstarren ändert sich bei ihnen in der Regel im wesentlichen nicht die Zahl, sondern nur die Beweglichkeit der Ionen, die in der Nähe des Schmelzpunktes noch relativ groß ist, mit abnehmender Temperatur jedoch vielfach nach einer logarithmischen Funktion außerordentlich stark abnimmt. Diese Körper gehören also eigentlich zu den Leitern, sie täuschen nur durch die Größe der Ionenreibung bei hinreichender Entfernung vom Schmelzpunkte ein Dielektrikum vor. Zu dieser Klasse gehören die Gläser, Glimmer, Porzellan, Marmor und alle salzartigen festen Körper.

Bringt man einen derartigen als vollkommen homogen vorausgesetzten Körper in ein homogenes steigendes Feld, so ist eine homogene mit der Feldstärke zunehmende Leitung durch den Körper zu erwarten. Diese erwärmt ihn gleichmäßig, vergrößert damit die Leitfähigkeit, den Strom, die Erwärmung, und so steigert sich der Prozeß, bis der Körper sich in einen vorzüglichen Leiter verwandelt hat.

Da es völlig homogene Körper nicht gibt, tritt statt dieses Vorganges ein anderer ein, der dadurch bedingt ist, daß die spezifische Leitfähigkeit dieser Art Körper mit der Temperatur außerordentlich stark ansteigt. Ist nämlich infolge einer Inhomogenität der spezifische Widerstand der zu untersuchenden ebenen pseudodielektrischen Platte an irgendeiner Stelle geringer als an den anderen Stellen, so ist an dieser Stelle die Stromdichte größer, infolgedessen auch die Abnahme des Widerstandes. Der Vorgang steigert sich an der Stelle des geringsten Widerstandes derart, daß sich schließlich der gesamte rapide zunehmende Strom auf diese Stelle konzentriert und sie, indem er sich auf einen ganz geringen Querschnitt zusammenzieht, so erhitzt, daß sie verdampft und dabei ähnlich wie eine Sicherung einen kurzschlußartigen Strom entstehen läßt.

Da sich der ganze Vorgang in der Regel in einem geringen Bruchteil einer Sekunde abspielt und infolge der Konzentration des Stromes auf eine Linie eine sehr enge Durchbohrung der Platte entsteht, erweckt der Vorgang den Anschein, als sei eine Funkenentladung durch ein Dielektrikum erfolgt.

Die Theorie ist veröffentlicht. Nahezu die gleiche Theorie über das dielektrische Verhalten ist auch von Hayden und Steinmetz (*El. World 80. S. 865. 1922*) sowie von K. W. Wagner (*Sitzungsber. Pr. Akad. d. Wiss. 438. 1922*) aufgestellt und durch Versuche bestätigt worden.

b) Experimentelles[1].

Um die Vorgänge vor und beim Durchschlag bei Isolierstoffen zeitlich verfolgen zu können, wurde ein Braunsches Rohr nach dem Lilienfeld-Prinzip mit Glühkathode und Sekundärkathode gebaut. Die Glühkathode war in dankenswerter Weise von der Osram-Kommanditgesellschaft Berlin überlassen worden. Es gelang, auf dem Leuchtschirm einen äußerst feinen Lichtpunkt zu erzeugen, welcher bei 20 V Wechselspannung einen Ausschlag von 2 cm ergab. Die Versuche zur Ausbildung einer geeigneten photographischen Methode werden fortgesetzt. An den Versuchen beteiligte sich Herr cand. phil. Spiller.

31. Untersuchungen am elektrischen Lichtbogen, insbesondere am Quecksilberlichtbogen[2].

a) Die Größe des Kathodenfleckes des Kohlelichtbogens in Luft.

Wird die Anode eines Kohlelichtbogens so weit von der Kathode entfernt, daß ihre Strahlung die Größe des Kathodenfleckes nicht mehr beeinflußt, so ist letztere der Stromstärke proportional. Die konstante Stromdichte des Kathodenfleckes ist 470 A pro Quadratzentimeter.

b) Untersuchungen am Quecksilberlichtbogen.

Auf Wunsch der Industrie wurden umfangreiche Untersuchungen über die physikalischen, chemischen und elektrischen Verhältnisse in den Quecksilbergleichrichtern begonnen.

[1]) Engelhardt.

[2]) A. Günther-Schulze.

An der Kathode wurde die Größe des Kathodenfleckes und die pro Ampère im Kathodenfleck verdampfende Quecksilbermenge gemessen und mit Hilfe der erhaltenen Werte die Energiebilanz der Kathode aufgestellt. Der gesamte Energieverlust im Kathodenfleck ergab sich pro Ampère Stromstärke zu 4,95 W/sek. Der Kathodenfall beträgt nach Stark 5,27 V. Mit Hilfe dieses Kathodenfalles können nur dann 4,95 W/sek auf die Kathode übertragen werden, wenn nahezu die gesamte Strömung an der Kathode aus Quecksilberionen besteht.

Ferner wurden die Verhältnisse in der positiven Lichtsäule des Quecksilberlichtbogens untersucht, wobei als Gefäße große Gleichrichterkolben aus Glas benutzt wurden. Der Quecksilberdampfdruck beträgt in den Anodenarmen der Gleichrichter bei Vollast etwa 0,3 mm Hg. Für die Achse der positiven Lichtsäule des Bogens wurden Temperaturen berechnet, die für volle Belastung je nach der Größe dos Lichtbogens zwischen 1000 und 10000° C liegen.

Der Ionisationsgrad des Quecksilberdampfes ist bei mittlerer Belastung der Gleichrichter von der Größenordnung 10^{-4} und mit der Belastung nur wenig veränderlich.

Der Anodenfall des Quecksilberlichtbogens nimmt mit steigendem Quecksilberdampfdruck anfangs beträchtlich ab und wird bei Drucken von etwa 0,3 mm Hg an vom Dampfdruck unabhängig. Ferner ist er durch die Intensität der Resonanzstrahlung an der Anode bedingt. Infolgedessen nimmt er beträchtlich ab, wenn der Resonanzstrahlung ermöglicht wird, sich zu konzentrieren, beispielsweise, indem eine Bohrung in der Anode angebracht wird, in die die Strömung hineingehen kann. Von der Temperatur der Anode und von der Stromstärke ist der Anodenfall unabhängig.

Bei maximaler Intensität der Resonanzstrahlung und hinreichendem Dampfdruck kann der Anodenfall bis auf 4,8 V heruntergehen; daß er auch vom Material der Anode abhängig ist, ist wahrscheinlich, aber nicht mit Sicherheit festzustellen. Die Ergebnisse sind größtenteils veröffentlicht, die Versuche werden fortgesetzt.

32. Untersuchungen an Metallkristallen[1]). Sowohl das thermisch-elastische Verhalten der Metalle wie auch ihr Leitvermögen für Wärme und Elektrizität lassen es wünschenswert erscheinen, diese Eigenschaften an einheitlichen Kristallen aus reinstem Metall zu untersuchen, zumal bei Metallen, die nicht regulär kristallisieren und den verhältnismäßig einfachen Beziehungen, die für regulär kristallisierende Metalle gelten, sich nicht fügen.

Die Untersuchung erstreckte sich zunächst auf das hexagonal kristallisierende Zink. Man erhält sehr schöne Einkristalldrähte oder -stäbe nach dem Czochralskischen Verfahren, welches im Kaiser-Wilhelm-Institut für Faserstoffchemie weiter durchgebildet ist. Nach zahlreichen Vorversuchen gelang es, die Kristalle in der jeweils gewünschten kristallographischen Orientierung zu züchten. Wesentlich hierfür ist einerseits, daß ein Keim der gleichen Orientierung in die Schmelze getaucht, andererseits, daß dieser Keim hinreichend langsam aus der Schmelze gezogen wird. In Richtung der hexagonalen Achse wächst der Kristall langsamer als senkrecht dazu. Ein in Richtung der hexagonalen Achse wachsender Kristall kann bei zu großer Zuggeschwindigkeit sehr rasch in eine stark abweichende Orientierung umschlagen.

Hinsichtlich der Dehnbarkeit (Weichheit) der Kristalle wurde in Übereinstimmung mit Polanyi und seinen Mitarbeitern gefunden, daß die senkrecht zur hexagonalen Achse gewachsenen Drähte die sprödesten sind. Andererseits aber ergab sich die größte Weichheit nicht etwa für parallel der hexagonalen Achse gewachsene Drähte, sondern für solche von mittlerer Orientierung.

Über die thermische Ausdehnung der Zinkkristalle, deren Messung zunächst in Angriff genommen ist, soll hier nur das merkwürdige Ergebnis mitgeteilt werden, daß der Ausdehnungskoeffizient in Richtung der hexagonalen Achse 5—6 mal so groß ist wie senkrecht zur Achse und den erstaunlich hohen Wert von über $60 \cdot 10^{-6}$ bei Zimmertemperatur besitzt.

33. Schallgeschwindigkeit in Stickstofftetroxyd[1]). Die Versuche, über die im vorigen Jahre berichtet wurde, sind nach zwei Richtungen hin fortgesetzt worden. Erstens gelang es, mit einem kürzeren und engeren Schallrohr die Resonanztöne über 6000 sek^{-1} bis zur Hörgrenze hin zu verfolgen, zweitens wurden Druck und Temperatur des Gases bei einigen Versuchsreihen erniedrigt. Bei keiner der Versuchsreihen war eine Änderung

[1]) Grüneisen, Goens.

der Schallgeschwindigkeit mit der Frequenz nachweisbar. Für den Druck 760 mm Hg und 25° C dürfte die Konstanz der Schallgeschwindigkeit nunmehr bis zur Frequenz 12500 sek^{-1} auf $^1/_2$ Promille sicher sein, wie Tabelle 1 zeigt, in der gemäß Versuchsreihe 1 im kurzen Rohr die relative Schallgeschwindigkeit in N_2O_4, bezogen auf Luft, als Funktion der Ordnungszahlen q oder Frequenzen n verzeichnet ist. Daraus würde unter Zuhilfenahme der Einsteinschen Theorie folgen, daß jedes N_2O_4-Molekül mehr als 8000 mal in der Sekunde einen Zerfall erlebt. Die Versuche bei Unterdruck haben geringere Genauigkeit und erhöhen daher die angegebene untere Grenze der Dissoziationsgeschwindigkeit nicht. Ihre Ergebnisse, die in Tabelle 2 mit den bei Atmosphärendruck erhaltenen zusammengestellt sind, haben jedoch insofern Bedeutung, als sie zeigen, daß die Differenz der beobachteten Schallgeschwindigkeit gegen den nach Einsteins Formel (s. vor. Tätigkeitsbericht, *diese Zeitschr.* **42.** *S. 81. 1922. Gl. 2*) berechneten unteren Grenzwert der Schallgeschwindigkeit um so kleiner sich ergibt, je kleiner die Dichte ($\sim p/T(1+\alpha)$) des Gases ist. In der Tat verschwindet jene Differenz bei Extrapolation auf die Dichte 0 fast völlig, was sich durch die idealisierenden Voraussetzungen der Theorie erklären dürfte. Der gleiche Einfluß der Dichte läßt sich auch an den Versuchen früherer Beobachter erkennen. — Die Untersuchung wurde abgeschlossen und zur Veröffentlichung vorbereitet.

Tabelle 1.

Relative Schallgeschwindigkeit in Stickstofftetroxyd bei 25° C und 760 mm Hg bezogen auf trockne, CO_2-freie Luft von 18° und 760 mm Hg.

q	n_q	Versuch 1
10—14	3700— 5200	0,5378
15—19	5500— 7000	77
20—24	7400— 8800	77
25—29	9200—10700	77
30—34	11000—12500	77

Tabelle 2.

Zusammenstellung der gemessenen Schallgeschwindigkeiten in Stickstofftetroxyd im Vergleich mit den theoretischen Grenzwerten.

p mm Hg	t_{Gas}	α %	$u_{ber.}$ $\tau \ll 1/n$	$u_{ber.}$ $\tau \gg 1/n$	$u_{beob.}$	$u_{beob.} - u_{ber.} (\tau \ll 1/n)$	$\frac{p}{T(1+\alpha)} \sim \varrho$
760	25,0°	18,5	187,0	194,4	184,1	— 2,9	2,15
	35,0°	27,1	197,0	205,9	193,8	— 3,2	1,94
565	25,0°	21,4	189,2	197,1	187,0	— 2,2	1,56
440	14,2°	16,0	181,4	188,5	179,5	— 1,9	1,32
	18,2°	18,7	184,8	192,3	183,0	— 1,8	1,27
	25,0°	24,1	191,2	199,6	189,6	— 1,6	1,19
265	10,0°	17,3	180,9	188,3	180,0	— 0,9	0,80
	20,3°	25,7	190,9	199,6	190,0	— 0,9	0,72

Unterabteilung IIb.

34. Übersicht über die Prüfungsarbeiten.

Wenn auch in einigen Laboratorien der Umfang der Prüfungen zeitweise etwas abgenommen hat, z. T. durch Abwälzen der Prüfungen auf die elektrischen Prüfämter, ist er in anderen Laboratorien so groß gewesen, daß die Bearbeitung wissenschaftlich-technischer Aufgaben eine lange Unterbrechung erfahren hat. Dies ist um so bedauerlicher, als mehrere dieser Aufgaben seitens der Industrie als dringlich gestellt worden sind.

A. Laboratorium für Grundeinheiten[1]).

	Anzahl
Proben, Leitungsmaterial (2 Kupfer, 1 Aluminium)	3 (38)
„ Widerstandsmaterial	3 (20)
Verschiedenes, 1 Probe Platindraht, 1 Widerstand von 1 Ohm (Aron) ohne Materialangabe)	2 (9)
Einzelwiderstände	58 (64)
Widerstandssätze, einschl. Verzweigungswiderstände (176 Abteilungen)	8 (32)
Clarkelemente	1 (3)
Internationale Westonelemente (mit festem Kadmiumsulfathydrat)	23 (5)
Westonelemente mit bei 4° gesättigter Lösung	122 (110)

Von den geprüften Einzelwiderständen waren 44 in Draht- und 14 in Blechform. Davon waren 8 für Japan, 6 für Polen, 3 für die Schweiz, je 2 für Österreich, Holland und Ungarn und je 1 für Rußland und die Tschechoslowakei bestimmt. 2 Proben Leitungsmaterial waren aus Schweden zur Prüfung eingesandt.

Die Abweichungen von dem Sollwert lagen bei den internationalen Westonelementen bei 21 Elementen unterhalb $+1 \cdot 10^{-4}$ V, bei je einem Element zwischen $+1$ und $+2 \cdot 10^{-4}$ V bzw. zwischen $+2$ und $+3 \cdot 10^{-4}$ V.

Die Prüfung der Westonelemente mit bei 4° gesättigter Lösung ergab:

bei 6 Stück	1,0189 V
„ 25 „	88 „
„ 85 „	87 „
„ 1 „	86 „
„ 6 „ hatten eine EMK <	80 „
oder waren fehlerhaft.	

Für die 7 elektrischen Prüfämter wurden 42 Normalwiderstände und 13 Normalelemente einer Nachprüfung unterzogen.

Für die verschiedenen Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

Widerstandsapparate (170 Abteilungen)	9 Stück
Wechselstromwiderstände	6 „
Normalelemente	1 „
destilliertes Wasser	3 Proben
Zuckerlösung	6 „

B. Laboratorium für Wechselstromnormalien[2]) und Hochfrequenz[3]).

	Anzahl
Induktivitäten	17 (8)
Induktivitätsvariatoren	2 (0)
Kapazitäten	7 (9)
Kapazitätssätze [255 (196) Abteilungen]	17 (14)
Kapazitätsvariatoren	28 (6)
Verlustwinkel von Glimmerkondensatoren	246 (198)
Verlustwinkel von Kapazitätsvariatoren	8 (1)
Temperaturkoeffizient von Glimmerkondensatoren	1 (0)
Wellenmesser	6 (5)
Dielektrizitätskonstante und Verlustwinkel fester Isolatoren	2 (7)

[1]) v. Steinwehr, A. Schulze.
[2]) Giebe, Zickner.
[3]) Giebe, Alberti.

Prüfungen für die Laboratorien der Reichsanstalt.

	Anzahl
Induktivitäten	0 (1)
Kapazitäten	3 (7)
Kapazitätssätze [0 (27) Abteilungen]	0 (1)
Kapazitätsvariatoren	2 (0)
Verlustwinkel von Kondensatoren	5 (28)
Wellenmesser	1 (0)

C. Gleichstromlaboratorium [1]).

		Anzahl
I.	Meßapparate:	
	Zur Messung der Spannung und Stromstärke	34 (28)
	" " " Leistung	45 (19)
	" " " Arbeit (Elektrizitätszähler)	36 (50)
II.	Vor- und Nebenwiderstände	18 (21)
III.	Widerstände von Leitungen (Kupfer) u. ähnl.	2 (6)
IV.	Primärelemente	68 (80)
V.	Systemprüfungen von Gleich- und Wechselstromzählern	21 (14)
VI.	Vorprüfungen von Zählersystemen	9

Für die einzelnen Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

Normalwiderstände, Strom-, Spannungs-, Leistungsmesser und Zähler	49 (54)

D. Wechselstromlaboratorium [2]).

I. Meßapparate.

	Anzahl
Spannungs- und Stromzeiger	22 (4)
Leistungszeiger	1 (5)
Elektrizitätszähler	104 (191)
Strom- und Spannungswandler	236 (200)
Frequenzmesser	0 (0)
Phasenmesser	0 (0)

II. Wechselstromgrößen.

Winkelfehler von Widerständen	0 (8)
Selbstinduktionsspulen	9 (8)

III. Isolations- und Installationsmaterial.

	Anzahl der untersuchten Sorten
Feste Isoliermaterialien	42 (79)
Ausgußmassen (an Prüfamt Nürnberg abgegeben)	0 (16)
Isolierlacke	3 (6)
Isolierharz und -wachs	0 (0)
Isolatoren	41 (22)
Isolierrohre	1 (0)
Öle	15 (20)
Kabel und Drahtleitungen	23 (27)
Schalter und Steckvorrichtungen, Abzweigklemmen	19 (29)
Gummi-Handschuhe	0 (1)

---

1) Schmidt, Scheld.

2) Schering, Reichardt, Behnken, Engelhardt, Burmester.

IV. Technische Apparate.

Heizapparate	6 (7)
Gleichrichter	1 (0)
Klingeltransformatoren und Relais	5 (0)
Blitzschutzsicherungen	1 (0)
Kontakte für Explosionsmotore	1 (0)
Fernhörer	1 (0)
Verschiedenes	3 (7)

V. Systemprüfung.

Prüfung von Stromwandlersystemen	2 (3)

44 (41) Hochspannungszähler-Aggregate wurden im Betriebe an Ort und Stelle geprüft.

An einem Telephonsystemkabel wurde das Übersprechen bei Klingelströmen und Telephonströmen gemessen und der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf das Übersprechen bestimmt.

E. Maschinenlaboratorium[1]).

Es wurden geprüft:

Generatoren und Motoren	18 (39)
Anlasser	4 (—)
Apparate	2 (—)
Abnahme von Maschinen	2 (—)

F. Magnetisches Laboratorium[2]).

Es wurden geprüft:

von Flußeisen, Gußeisen, Magnetstahl	54 (106)
" Dynamoblech	111 (121)
" Hufeisenmagneten	4 (0)
" Magnetisierungsapparaten nach Koepsel-Roth	2 (0)

Von den Dynamoblechproben wurden 55 wattmetrisch, 56 statisch untersucht; für eine Probe wurde der Sättigungswert bestimmt. Die Zahl der beschleunigten Prüfungen betrug 28.

35. Referat für das elektrische Prüfwesen[3]). *a) Zulassung von Zählern.*

Es wurden zur Beglaubigung zugelassen

Gleichstromzähler: 2 neue Systeme, 2 Abänderungen bzw. Zusätze.

Zähler für ein- oder mehrphasigen Wechselstrom: 6 neue Systeme, 10 Abänderungen bzw. Zusätze.

Stromwandler: 2 neue Systeme.

Eine Ablehnung der Zulassung erfolgte in 5 Fällen; ein eingereichtes System wurde vom Antragsteller zurückgezogen.

Eine Übersicht der zugelassenen neuen Systeme, Abänderungen und Zusätze ist in nachstehender Zusammenstellung der im Berichtsjahr erlassenen amtlichen Bekanntmachungen enthalten.

Nr. 144. I. System 100, Form *D* 7 Induktionszähler für mehrphasigen Wechselstrom;

II. System 101, Form *D* 8, Induktionszähler für Drehstrom mit und ohne Nullleiter, beide hergestellt von den Siemens-Schuckertwerken in Nürnberg.

Nr. 145. Erhöhung der Teuerungszuschläge auf die Prüfungsgebühren für die Elektrischen Prüfämter.

Nr. 146. I. System 7, Stromwandler für einphasigen Wechselstrom, Form *SE* 5 und *SE* 6 a;

II. System 8, Stromwandler für einphasigen Wechselstrom, Form *SE* 8, beide hergestellt von der H. Aron, Elektrizitätszählerfabrik G. m. b. H. in Charlottenburg.

---

[1]) Vieweg, Menzel, Kümmel.
[2]) Gumlich, Steinhaus.
[3]) Schmidt.

Nr. 147. System 102, Form *WHP*, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, hergestellt von der Firma Hermann Pipersberg jr. in Lüttringhausen im Rheinland.

Nr. 148. Erhöhung der Teuerungszuschläge auf die Prüfungsgebühren für die Elektrischen Prüfämter.

Nr. 149. System 103, Form *W*, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, hergestellt von der Dr. Paul Meyer-Aktiengesellschaft in Berlin.

Nr. 150. Dritter Zusatz zu System 45, Elektrolytzähler für Gleichstrom, Form *UN* 3, hergestellt von dem Glaswerk Schott u. Gen. in Jena.

Nr. 151. Bestimmungen über die Beglaubigung von Meßwandlern (neue Fassung).

Nr. 152. Zusatz zu System 81, Form *EF* a, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom, hergestellt von der H. Aron, Elektrizitätszählerfabrik G. m. b. H. in Charlottenburg.

Nr. 153. Zusatz zu System 61, abgeänderte Form *F*, Motorzähler für Gleichstrom, hergestellt von den Isaria-Zählerwerken A.-G. in München.

Nr. 154. I. Erster Zusatz zu System 92, abgeänderte Form *W* 5, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom;

II. Zweiter Zusatz zu System 92, Form *W* 5*n*, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom;

III. Zusatz zu den Systemen 33, 43, 73, 100, 101, Zähler mit Doppelzählwerk, Form *Z*, sämtlich hergestellt von den Siemens-Schuckertwerken G. m. b. H. in Nürnberg.

Nr. 155. Änderung der Gebührenordnung der Elektrischen Prüfämter.

Nr. 156. System 104, Form *AZ* 2, Magnetmotorzähler für Gleichstrom, hergestellt von der Körting & Mathiesen A.-G. in Leipzig-Leutzsch.

Nr. 157. I. Erster Zusatz zu System 95, abgeänderte Form *WZ* 4, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom;

II. Zweiter Zusatz zu System 95, Form *WZ* 4*r*, Induktionszähler für einphasigen Wechselstrom;

III. System 105, die Formen *DZ* 4, *DZ* 4 *Z*, *DZ* 4 *ZN*, *DZ* 4 *ZU*, Induktionszähler für mehrphasigen Wechselstrom;

IV. System 106, Form *DZ* 4 *V*, Induktionszähler für Drehstrom mit Nulleiter, sämtlich hergestellt von der Körting & Mathiesen A.-G. in Leipzig-Leutzsch.

Nr. 158. System 107, Form *ZA*, Magnetmotorzähler für Gleichstrom, hergestellt von der Firma Paul Firchow Nachf. in Berlin.

b) Tätigkeit der Prüfämter.

Eine Übersicht über die Prüftätigkeit der einzelnen Ämter gibt die auf folgender Seite stehende Tabelle.

36. Änderung des Gesetzes betreffend die elektrischen Einheiten.

Es ist geplant, das Gesetz über die elektrischen Einheiten in gewisser Hinsicht noch zu ergänzen. Besonders erscheint es notwendig, im Hinblick auf die in der letzten Zeit aufgefundene Tatsache, daß verschiedene Isotopen des Quecksilbers existieren, die sich durch die Dichte unterscheiden, bei der Definition des Ohms auch die Dichte des Quecksilbers zahlenmäßig festzulegen.

Die geplante Untersuchung der Dichte von Quecksilbersorten verschiedener Herkunft wurde aufgegeben, da mittlerweile diese Untersuchung von den Herren Brönsted und v. Hevesy[1]) ausgeführt worden ist mit dem Ergebnis, daß Unterschiede nicht vorhanden sind.

---

[1]) Brönsted und v. Hevesy, *Zeitschr. f. anorg. Chem.* ***124***. *S. 22. 1922.*

Tabelle.

Meßgeräte	Prüfämter						
	Ilmenau	Hamburg	München	Nürnberg	Chemnitz	Frankf.a.M.	Bremen
1. Zähler, im ganzen eingereicht	175	869	15441	4287	40	6467	13225
Davon gehören einem zur Beglaubigung zugelassenen System an	35	404	4233	3800	40	6080	11418
Bei der Einsendung hielten die Verkehrsfehlergrenzen nicht ein	4	495	4821	190	6	100	335
Von den in Zeile 1 aufgeführten Zählern wurden a) mit dem Beglaubigungsstempel versehen	35	328	3089	3690	4	5721	11072
b) mit dem Verkehrsstempel versehen	134	487	11043	342	25	633	2134
c) wegen Unzulässigkeit der Bauart zurückgewiesen	—	38	2	10	—	—	—
d) wegen Überschreitung der Verkehrsfehlergrenzen oder wegen sonstiger Mängel zurückgewiesen	6	4	434	72	5	100	—
e) nicht gestempelt, weil ohne Meßwandler oder bei nur wenigen Punkten geprüft	—	12	823	173	6	13	19
2. Tarifuhren, Zeitzähler und andere Tarifgeräte	—	3	4886	64	—	59	—
3. Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser und andere Meßgeräte	12	87	79	37	5	46	79
4. Elektrische Gebrauchsgegenstände	—	—	42	105	—	9	7
5. Isolations- und Installationsmaterial	—	14	112	—	8	—	11

37. Widerstandsnormale[1]. Die im Jahre 1921 infolge Überlastung des Laboratoriums mit Prüfungsanträgen unterbliebene Prüfung der Manganinnormale und der Anschluß der Gebrauchsnormale an die Widerstandseinheit der Reichsanstalt sind im vergangenen Jahre durchgeführt worden. Das Ergebnis war in gleicher Weise befriedigend wie in allen vorhergehenden Jahren.

38. Ohmrohre[1]. Die Arbeiten an den Ohmrohren konnten wieder aufgenommen werden, da die neuen Verschraubungen inzwischen fertiggestellt waren. Die fünf Ohmrohre wurden dreimal gefüllt und ihre Widerstände nach der Differentialmethode (mit übergreifendem Nebenschluß) bestimmt, die Rohre blieben jedesmal etwa eine Woche lang gefüllt, so daß täglich Messungen an ihnen vorgenommen werden konnten. Die verschiedenen Füllungen gaben gut übereinstimmende Werte. Auch mit den bereits früher vorgenommenen vier Füllungen, bei denen die Rohre noch mit den alten Verschlüssen versehen waren, stehen die jetzigen in gutem Einklang. — Sodann sind die drei alten Ohmrohre XI, XIV und 114 gereinigt und neu gefüllt worden, um ihre Widerstände abermals zu bestimmen und mit den neuen Rohren in Beziehung zu setzen. Diese Messungen sind noch im Gange.

39. Normalelemente[1]. Die Kontrollbestimmung der EMK des Elementenstammes der Reichsanstalt mit Hilfe des Silbervoltameters, über dessen Ergebnis bereits im Vorjahre berichtet wurde, ist inzwischen veröffentlicht worden.

40. Das Verhalten der Kadmium-Amalgame[2]. Die Arbeit über das Verhalten der Kadmiumamalgame in den Westonschen Normalelementen ist inzwischen zum Abschluß gebracht. Hiernach hat sich ergeben, daß das Zustands-

---

[1]) v. Steinwehr, A. Schulze.

[2]) A. Schulze.

diagramm, wie es von Bijl (*Zeitschr. f. physik. Chem.* 41. S. 641. 1902) festgelegt worden ist, nicht in allen Punkten als richtig angesehen werden kann. Während für Amalgame, die 8 bis 15 Gewichtsprozente Cadmium enthalten, die Lage der Liquiduskurve sowohl auf thermischem Wege, als auch durch Analyse der flüssigen Phase des heterogenen Systems bestätigt werden konnte, war dies für die Soliduskurve nicht der Fall. Dilatometrische sowie Leitfähigkeitsmessungen ließen den Übergang aus dem homogenen festen Zustande in das heterogene System fest + flüssig nicht erkennen. Dagegen gab das elektromotorische Verhalten der Amalgame eindeutig Aufschluß über die Lage dieser Verzweigungspunkte. Hiernach liegen diese für den beobachteten Konzentrationsbereich bedeutend tiefer, als sie von Bijl angegeben sind. In Übereinstimmung auch mit anderen Messungen folgt daraus, daß das 12,5-prozentige Amalgam, wie es gemäß der internationalen Vorschrift für den negativen Pol des Westonschen Normalelements verwendet wird, unterhalb 0° seinen Verzweigungspunkt besitzt. Dadurch fällt auch der von Herrn Cohen gemachte Einwand von der Metastabilität des Westonschen Normalelements. Daß niemals eines der vielen in der Reichsanstalt untersuchten Normalelemente mit 12- bis 13 prozentigem Amalgam bei 0° irgendeine Anomalie aufgewiesen hat, bestätigt obiges Resultat aufs beste.

41. Internationale Vergleichungen der elektrischen Einheiten.

Vom National Physical Laboratory in Teddington hergestellte Westonelemente, die teils durch ein Mitglied der Chambre Central in St. Petersburg übergeben, teils direkt von London an die Reichsanstalt gesandt worden waren, wurden mit dem Elementenstamme der Reichsanstalt verglichen.

Obwohl eine vieljährige Pause seit der letzten Vergleichung eingetreten war, konnte doch eine gute Übereinstimmung der Spannungseinheiten beider Institute auf wenige Hunderttausendstel festgestellt werden.

42. Leitfähigkeit des Quecksilbers bei kleinen Drucken[1]).

Die Leitfähigkeit des Quecksilbers wurde zwischen den Drucken 0 und 1 atm. und zwischen 1 und 2 atm. gemessen. Es ergab sich, daß einer Druckzunahme von 1 atm. bei diesen kleinen Drucken eine Widerstandzunahme von $3{,}8 \cdot 10^{-5}$ entspricht. Für die Reproduktion der Widerstandseinheit durch Quecksilbernormale kann der auf dem Quecksilber lastende Druck unter Umständen von Bedeutung sein.

43. Wellenlänge elektrischer Schwingungen[2]).

Die Arbeiten zur Festlegung der neuen Wellenlängenskala wurden fortgesetzt und stehen nahe vor dem Abschluß.

44. Untersuchung von Röhrensendern mit der Braunschen Röhre[3]).

Nach Abschluß der Untersuchungen am fremderregten Röhrensender wurden Messungen am selbsterregten Sender in Angriff genommen. Von den verschiedenen hierbei möglichen Schaltungen wurde zunächst diejenige gewählt, bei der die Rückkoppelung mittels der Anoden-Gitterkapazität erfolgt (Kühnsche Schaltung, Fig. 3). Zur Untersuchung der Kurvenformen und Phasen der Schwingungen ist es auch hier, wie schon beim fremderregten Sender, zweckmäßig, zu wissen, bei welcher Anordnung man das Leistungsmaximum erhält. Daher wurde zunächst bei den verschiedensten Betriebszuständen die Leistung und gleichzeitig die dazugehörige Wellenlänge gemessen. Ist die Eigenwellenlänge des Arbeitskreises, λ_1, wesentlich kleiner als die des Gitterkreises, λ_2, so ist die Wellenlänge λ der auftretenden Schwingungen fast nur von der Einstellung des Gitterkreises abhängig. Ist dagegen λ_1 wesentlich größer als λ_2, so ist λ nahezu proportional λ_1. Ist λ_1 nahezu $= \lambda_2$, so geht λ kontinuierlich von dem einen Gebiet in das andere über. Die graphische Darstellung von λ in Abhängigkeit von λ_1 (oder λ_2) ergibt Hyperbeln, wie

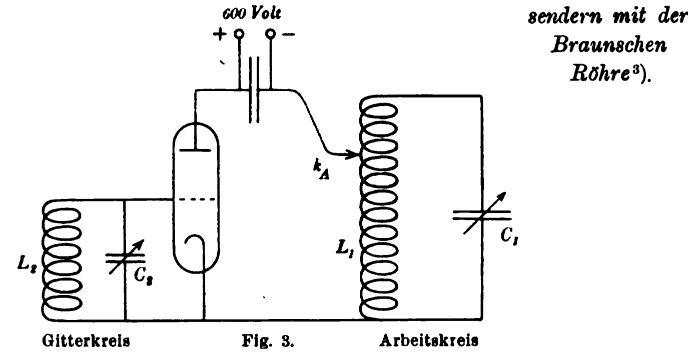


Fig. 3.

---

[1]) W. Jaeger und H. v. Steinwehr, *Zeitschr. f. Physik* 9. S. 201. 1922.

[2]) Giebe, Alberti.

[3]) Alberti, Zickner.

sie die Theorie von H. Rukop und J. Hausser-Ganswindt verlangt. Bei Vergrößerung des Verhtälnisses L/C im Arbeitskreise verschieben sich diese Hyperbeln in Übereinstimmung mit der Theorie zu kleineren Werten von λ_1.

Diese Beziehungen gelten für eine Koppelung k_A zwischen Anoden- und Arbeitskreis (Anodenkoppelung) vom Koppelungsgrad 1. Die Leistung hat jedoch für jeden Wert des Verhältnisses L/C bei einem anderen Koppelungsgrad ein Maximum. Der Optimalwert der Leistung bleibt bei günstigster Anodenkoppelung in einem weiten Bereich des Verhältnisses L/C nahezu konstant. Die Hyperbeln, welche die Beziehung zwischen λ und λ_1 charakterisieren, verschieben sich jedoch mit der Änderung des Wertes L/C bei günstigster Anodenkoppelung in entgegengesetztem Sinne als beim Koppelungsgrad 1.

Die Untersuchung der Kurvenformen und Phasen der auftretenden Wechselgrößen mit der Braunschen Röhre ist im Gange.

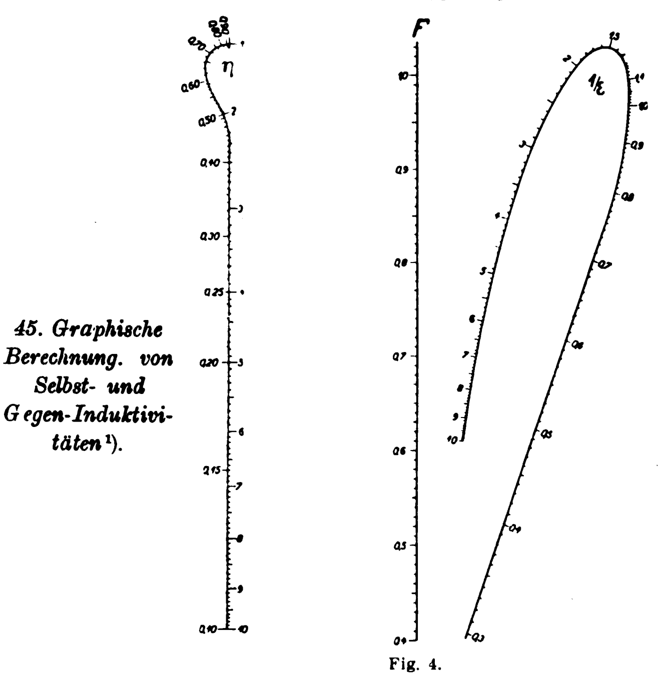


Fig. 4.

45. Graphische Berechnung. von Selbst- und Gegen-Induktivitäten[1]).

Die Vorausberechnung von Selbstinduktivitäten, welche aus meß- oder betriebstechnischen Gründen bestimmten Bedingungen genügen sollen, gelang bisher im allgemeinen nur durch Probieren, durch mehrmaliges Ausrechnen der Formeln, da diese sich auf der Windungszahl und den Spulenabmessungen aufbauen, welche Größen zu den Bedingungen sich nicht in Beziehung setzen lassen; auch bei den vereinfachten Formeln ist diese Rechenarbeit lästig umfangreich, für Gegeninduktivitäten wächst sie ins Ungeheuerliche. Die günstige Form der Kreisspule mit quadratischem Querschnitt ermittelte Orlich und später Giebe, indem der eine die Selbstinduktivität L in Beziehung zum Widerstande R, der andere zur Drahtlänge l setzte.

Schlagen wir diesen Weg für eine beliebige Kreisspule mit rechteckigem Wickelungsquerschnitt ein, wobei wir zunächst außer acht lassen, daß der letztere nicht ganz vom Leiter erfüllt ist, so ist die Selbstinduktivität L bei einem Abstand D der Mitten benachbarter Leiter

$$L = \frac{2^{1/3}}{\pi^{2/3}} \cdot \frac{l^{5/3}}{D^{2/3}} \cdot F.$$

Der „Formfaktor F“ ist dann lediglich eine Funktion der Verhältnisse der Spulenabmessungen. Ist a der mittlere Radius, b die axiale Länge, c die radiale Tiefe des Wickelungsraumes, so seien die Verhältnisse genannt

$$\frac{b}{a} = \beta; \qquad \frac{c}{a} = \gamma; \qquad \frac{c}{b} = \frac{\gamma}{\beta} = \eta; \qquad \frac{\sqrt{b\,c}}{a} = \varepsilon.$$

In Fig. 4 ist F als Funktion von η und $\frac{1}{\varepsilon}$ in Linienkoordinaten dargestellt. Verbindet man einen Punkt der η-Achse mit einem Punkt der gekrümmten $\frac{1}{\varepsilon}$-Achse, so gibt der Schnitt der Verbindungslinie mit der F-Achse das gesuchte zugehörige F. Man sieht in einem ziemlich großen Bereich von $\frac{1}{\varepsilon}$ und η ist F nur um einige Prozent von 1 verschieden; bei engen, weiten, flachen oder langen Spulen nimmt F ab, aber so langsam, daß, wenn ε oder η sich um 10% ändern, F sich nur bis zu etwa 2% ändert. Ist also Länge und Außendurchmesser des Drahtes, sowie der ungefähre Charakter der Form bekannt, so läßt sich schon die Selbstinduktivität auf einige Prozent sicher angeben. Ein Probieren führt also sehr schnell zum Ziel.

[1]) Schering.

Die Werte von F sind für $\eta < 1$ (Langspulen) nach der Coffin-Rosa-Formel und sobald der genaue Anschluß an die Stephan-Formel erreicht war, nach letzterer berechnet. Die Figur ist in sehr großem Maßstab gezeichnet (0,5 bis 1,0 oder F-Skala = 50 cm), der Fehler hält sich im allgemeinen innerhalb einiger Zehntel-Prozent. Überraschenderweise ergab sich für $\eta > 1$ (Flachspulen) nach der kürzlich von Hemmeter korrigierten Stephan-Formel dasselbe F für $\eta = x$ wie für $\eta = \frac{1}{x}$ (Langspulen) nach Coffin-Rosa und Stephan, und zwar bis auf wenige Zehntel-Prozent (gegen die Grenze des Geltungsbereiches der Hemmeter-Stephan-Formel wurde die Abweichung etwas größer). Es konnte also dasselbe Nomogramm für Lang- wie für Flachspulen benutzt werden. Für ausgesprochene lange-dünnlagige Spulen ($\eta = 0{,}12$ bis $0{,}01$) wurde zur Ergänzung ein zweites Nomogramm für F als Funktion von η und $\frac{1}{\varepsilon}$ aufgestellt.

Das Berechnen der Induktivität nach der oben angegebenen Formel wäre wegen der gebrochenen Exponenten noch unbequem. Außerordentlich einfach wird die Auswertung, wenn wir ein Nomogramm mit logarithmischen Skalen aufstellen, und zwar für L, l, D, R, a, $\frac{1}{\varepsilon}$, Durchmesser des blanken Drahtes und Kupfergewicht G. Auf der L-Skala operieren wir nicht mit der Induktivität L selbst, sondern mit dem Wert $\frac{L}{F}$. Durch Anlegen eines Lineals kann man an den Skalen die zusammengehörigen Werte ablesen.

Der Entwurf einer gegenseitigen Induktivität M aus zwei koaxialen Kreisspulen von rechteckigen Wickelungsquerschnitten gleicher Länge, die unmittelbar aufeinanderliegen, wird nun sehr einfach; sind L_1 und L_2 die Selbstinduktivitäten der beiden Spulen und L_{1+2} die der in Reihe geschalteten Spulen, so ist:

$$M = \tfrac{1}{2}\,[L_{1+2} - (L_1 + L_2)].$$

Die günstigste Form der gegenseitigen Induktivität ist im allgemeinen die, bei der für den Gesamt-Wickelungsquerschnitt $\eta = 0{,}65$ und $\frac{1}{\varepsilon}$ etwa 2,3 ist und jede Spule die Hälfte des Wickelungsraumes einnimmt.

Auch Gegeninduktivitäten, bei denen die Spulen durch eine starke Isolierschicht getrennt sind, lassen sich in ähnlicher Weise berechnen, indem man den Isolierraum sich von Wickelung erfüllt denkt und deren Selbst- und Gegeninduktivitäten in Abzug bringt.

46. Untersuchung des zeitlichen Spannungsverlaufes an Röntgenröhren[1].

Um den zeitlichen Verlauf der an einer Röntgenröhre liegenden Spannung zu ermitteln, wurde eine zuerst von Wehnelt benutzte Methode unter Verwendung eines Braunschen Rohres weiter ausgebildet. Dazu wurde folgende Schaltung angewendet:

Parallel zu der durch den Hochspannungstransformator H gespeisten Röntgenröhre R lag ein kapazitiver Nebenschluß, bestehend aus dem sehr kleinen Luftkondensator C_1 mit hoher Überschlagsspannung in Reihe mit dem größeren Luftkondensator C' (etwa 6000 cm). Die somit an C' auftretende Teilspannung wurde dem Ablenkungskondensator C des Braunschen Rohres zugeführt. Der hohe Widerstand W (etwa 3×10^6 Ohm) war notwendig, um störende statische Ladungen von C abzuleiten. Durch die beiden Magnetspulen S erfuhr der Lichtfleck des Braunschen Rohres eine zweite zu der durch den Kondensator C hervorgerufenen senkrechten Ablenkung von bekanntem (sinusförmigem) zeitlichen Verlauf. Aus kurzzeitigen photographischen Aufnahmen (bis zu $^1/_{100}$ Sekunde Belichtungszeit) der so entstehenden Kurven ist der zeitliche Verlauf der Spannung an C und damit der Gesamtspannung zu ermitteln. Bei der angegebenen Dimensionierung sind irgendwie erhebliche Verzerrungen der Spannungskurve nicht zu erwarten. Die Arbeit ist veröffentlicht. (Vgl. Anhang 1 Nr. 15). Die Untersuchung wird fortgesetzt.

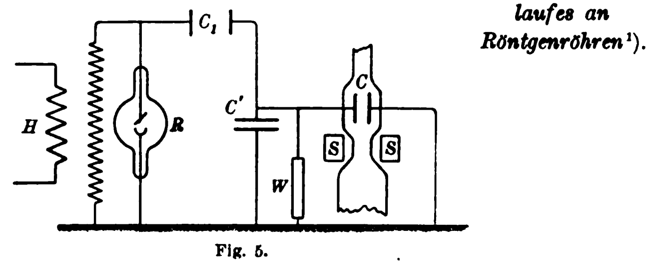


Fig. 5.

[1] Behnken.

47. Photographische Dosisbestimmung[1]). Von den in der medizinischen Praxis eingeführten Dosierungsverfahren für Röntgenstrahlen haben die photographischen Methoden den Vorteil, ein haltbares Dokument über die angewandte Dosis zu liefern. Das bisher meist übliche Verfahren von Kienböck leidet aber unter dem Nachteil, daß die Ergebnisse durch Zufälligkeiten des photographischen Materials und die Art der Entwicklung beeinflußt werden. Um diesem Mangel abzuhelfen, wurde ein Verfahren ausgearbeitet, das darauf beruht, daß das in einer Verstärkungsfolie, wie solche zu diagnostischen Zwecken seit langem im Gebrauch sind, durch die zu messenden Röntgenstrahlen erregte Fluoreszenzlicht auf photographischem Wege unter Benutzung eines Stufenphotometers mit dem Lichte einer Standardlampe verglichen wird. Dadurch, daß man das Fluoreszenzlicht und die Standardbelichtung auf das gleiche photographische Papierstück einwirken läßt, werden alle Zufälligkeiten des photographischen Prozesses kompensiert und damit die oben erwähnte Unsicherheit des Kienböck-Verfahrens behoben. Eine Mitteilung über dies Verfahren ist bereits veröffentlicht (vgl. Anhang 1, Nr. 16). Eine zweite Mitteilung, nach welcher das Verfahren in dem Sinne weiter ausgebaut wurde, daß gleichzeitig die Härte der benutzten Röntgenstrahlung registriert wird, ist im Erscheinen begriffen.

48. Eichung von Dosismessern[1]). Die Angaben der verschiedenen in die Praxis eingeführten Röntgenstrahlendosismesser, die auf dem Ionisierungsprinzip beruhen, sind nicht untereinander vergleichbar, da die Ionisierung in den für die Praxis allein in Frage kommenden kleinen Ionisierungskammern eine je nach der Bauart der Kammer verschiedene Abhängigkeit von der Härte der zu messenden Röntgenstrahlen zeigt. Dies hat seinen Grund darin, daß die in der Ionisierungskammer durch die Röntgenstrahlen ausgelösten je nach der Härte der Strahlen mehr oder weniger schnellen Elektronen, die vorwiegend die Ionisierung bewirken, meist nicht Raum genug haben, ihre volle Ionisierungsfähigkeit zu entfalten, da sie bereits vor Abgabe ihrer gesamten kinetischen Energie von den Wänden der Kammer aufgefangen werden. Zudem wird ein erheblicher Teil der Ionisierung durch Elektronen erzeugt, die durch die Röntgenstrahlen in den Wänden der Kammer ausgelöst werden, so daß auch das Material, aus dem diese bestehen, eine Rolle spielt. Es liegt daher das Bedürfnis nach einer Normalanordnung vor, mit welcher die praktischen Apparate geeicht werden können. Nach Holthusen eignet sich hierzu eine große Ionisierungskammer von solchen Abmessungen, daß auch die schnellsten praktisch vorkommenden Elektronen sich innerhalb des Gasraumes totlaufen, wenn gleichzeitig die Wirkung der Wände kompensiert wird. Um dies mit Sicherheit zu erreichen, sind jedoch unbequem große Dimensionen nötig. Es wurde daher der Ausweg gewählt, eine nicht allzugroße Kammer mit Druckluft zu füllen und dadurch die Reichweite der Elektronen so weit herabzusetzen, daß sie die Wandungen nicht mehr erreichen. Eine geeignete Ionisierungskammer, die einen Druck von 25 Atmosphären aushält, wurde konstruiert und wird zur Zeit ausprobiert. Zur Messung der Ionisation dient eine Elektrometeranordnung, die eine Genauigkeit von einigen Promille erreichen läßt, die allerdings zur Zeit infolge ungenügender Konstanz der Strahlenquelle nicht voll ausgenutzt werden kann.

49. Die Bestimmung der Durchschlagspannung bei S offen hoher Dielektrizitätskonstante[2]). Bei der Bestimmung der Durchschlagspannung an Platten tritt im allgemeinen der Durchschlag am Rande der Elektroden auf, weil dort die Feldstärke am größten ist. Man kann dies vermeiden, wenn man eine flache, kugelförmige Vertiefung in die Platte einschleift. Das ist aber bei harten Stoffen kostspielig und schwierig auszuführen.

Es wurde versucht, bei Isolierstoffen mit hoher Dielektrizitätskonstante, wie Glas und Porzellan, auf die Platte eine kreisförmige Elektrode mit abgerundeter Kante aufzusetzen und mit einem breiigen und vergießbaren Isolierstoff gleicher Dielektrizitätskonstante zu umhüllen. Versuche mit Bitumen und Graphit fielen ungünstig aus, weil durch den zu großen Zusatz von Graphit die Durchschlagspannung der Masse zu stark herabgesetzt wurde. Günstiger waren die Versuche mit einem Gemenge von Glasmehl und Bitumen. Die Versuche werden mit Glasmehl von Glas einer extremen hohen Dielektrizitätskonstante fortgesetzt.

In dankenswerte Weise stellten die Sendlinger optischen Glaswerke in Berlin-Zehlendorf Glasplatten und Glasmehl zur Verfügung.

[1]) Behnken.
[2]) Burmester.

50. Versuche über Kabelerwärmung[1].

Im Anschluß an die Arbeiten eines Unterausschusses der Kommission für Kabel des Verbandes Deutscher Elektrotechniker wurden Versuche über Erwärmung von Drehstromkabeln unternommen, um festzustellen, ob die Übertemperatur der verzehrten Energie proportional ist. Das untersuchte Drehstromkabel wurde den Verhältnissen der Praxis entsprechend im Erdboden eingegraben und mit verschiedenen Stromstärken längere Zeit (je bis zu etwa 100 Stunden) konstant belastet. Aus den gemessenen Werten des Widerstandes des Kabels wurde deren Temperaturerhöhung gegen das umgebende Erdreich berechnet. Die durch die Witterungsverhältnisse bedingte Veränderlichkeit der Erdtemperatur wurde durch besondere, nebenhergehende Messungen an eingegrabenen Leitungen berücksichtigt. Es wurden mehrere Versuchsreihen zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt; bei allen zeigte sich, daß bei höherer Belastung des Kabels die Übertemperatur im Gleichgewichtszustand nicht der aufgewendeten Energie proportional war, sondern stärker als diese wuchs. Die Wärmeleitfähigkeit und die Feuchtigkeit des Bodens spielten augenscheinlich eine erhebliche Rolle. Weitere Versuche sind in Vorbereitung,

Die Siemens-Schuckertwerke stellten in dankenswerter Weise Kabel für die Versuche zur Verfügung.

51. Die Messung des Winkelfehlers bei Induktionszählern[2].

Die Untersuchungen über den Winkelfehler δ bei Induktionszählern, über die in den Tätigkeitsberichten 1919 und 1920 berichtet war, sind nunmehr abgeschlossen worden und haben eine vollständige Aufklärung der beobachteten Erscheinungen gebracht. Es hatte sich ergeben, daß der Winkelfehler δ, um den die Verschiebung des Strom- und Spannungsfeldes von ihrem Sollwert abweicht, in seiner Abhängigkeit von der Stromstärke wesentlich durch die Stärke der Erregung des Spannungsfeldes beeinflußt wird. Diese Beeinflussung ist, wie eine systematische Untersuchung von Zählern verschiedener Bauart ergab, bei solchen Zählern erheblich, bei denen die Eisenwege des Strom- und Spannungsflusses zum größten Teil gemeinsam verlaufen (Bauart 1). Ist die Verkettung der Induktionsflüsse weniger ausgeprägt (Bauart II), so zeigt sich auch ein wesentlich geringerer Einfluß. Dieser wird verschwindend klein, wenn infolge der Bauart des Zählers Strom- und Spannungsfluß räumlich vollkommen voneinander getrennt sind (Bauart III). Diese Beobachtungen deuten auf eine gegenseitige Beeinflussung von Strom- und Spannungsfluß hin; es war daher wünschenswert, den Winkel δ_i zwischen Strom und Stromfluß und den Winkel δ_e, um den der Spannungsfluß mehr als 90° hinter der Spannung hereilt, für sich zu untersuchen ($\delta = \delta_e - \delta_i$). Die Untersuchung wurde in der Weise durchgeführt, daß die Spannung einer Meßspule, die der zu untersuchende Fluß ganz durchsetzte, in einer Art von Brückenschaltung nach Größe und Phase bestimmt wurde (bezüglich aller Einzelheiten der Methode wird auf die bereits vorbereitete ausführliche Veröffentlichung verwiesen). Die Methode gestattete, den Winkel δ_i des Stromflusses sowie die relative Amplitude des Stromflusses in Abhängigkeit von der Stromstärke zu messen, und zwar ohne und mit Erregung des Spannungsflusses sowie bei jeder beliebigen Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung. Ebenso konnte der Einfluß des Stromflusses auf die Größe des Winkels δ_e des Spannungsflusses bei verschiedenen Erregungen des Spannungsflusses und verschiedener Phasenverschiebung bestimmt werden. Die Ergebnisse der Messungen sind für einen Zähler der Bauart I, bei der Strom- und Spannungsfluß zum größten Teil einen gemeinsamen Eisenweg haben, in nebenstehenden Abbildungen wiedergegeben; sie beziehen sich auf eine Phasenverschiebung von 90° zwischen Strom und Spannung. Die Abhängigkeit des Winkels δ_i des Stromflusses von der Stromstärke J (Fig. 6) ist bei unerregter Spannungsspule ($E = 0$) beträchtlich, bei voller Erregung der Spannungsspule ($E = 110$ V) dagegen gering; einer ähnlichen Beeinflussung ist die relative Amplitude $\frac{\Phi_i}{J}$ des Stromflusses unterworfen (Fig. 7). Umgekehrt wird auch der Winkel δ_e des Spannungsflusses durch den Stromfluß beeinflußt (Fig. 8). Bei der Nennspannung beträgt die Änderung von δ_e mit der Stromstärke fast 80 Minuten, bei 20 V aber sogar 3°. Praktisch kommen die niedrigen Spannungen an der Spannungsspule natürlich nicht vor, diese Kurven sind nur aufgenommen, um auch für die

[1]) Schering, Scheld.

[2]) Schering, Schmidt.

niedrigen Spannungen rechnerisch die Verschiebung $\delta_e - \delta_i (= \delta)$ bilden und mit den nach der Stillstandsmethode aus Leistungsmessungen erhaltenen Werten von δ (vgl. Tätigkeitsber. 1919)

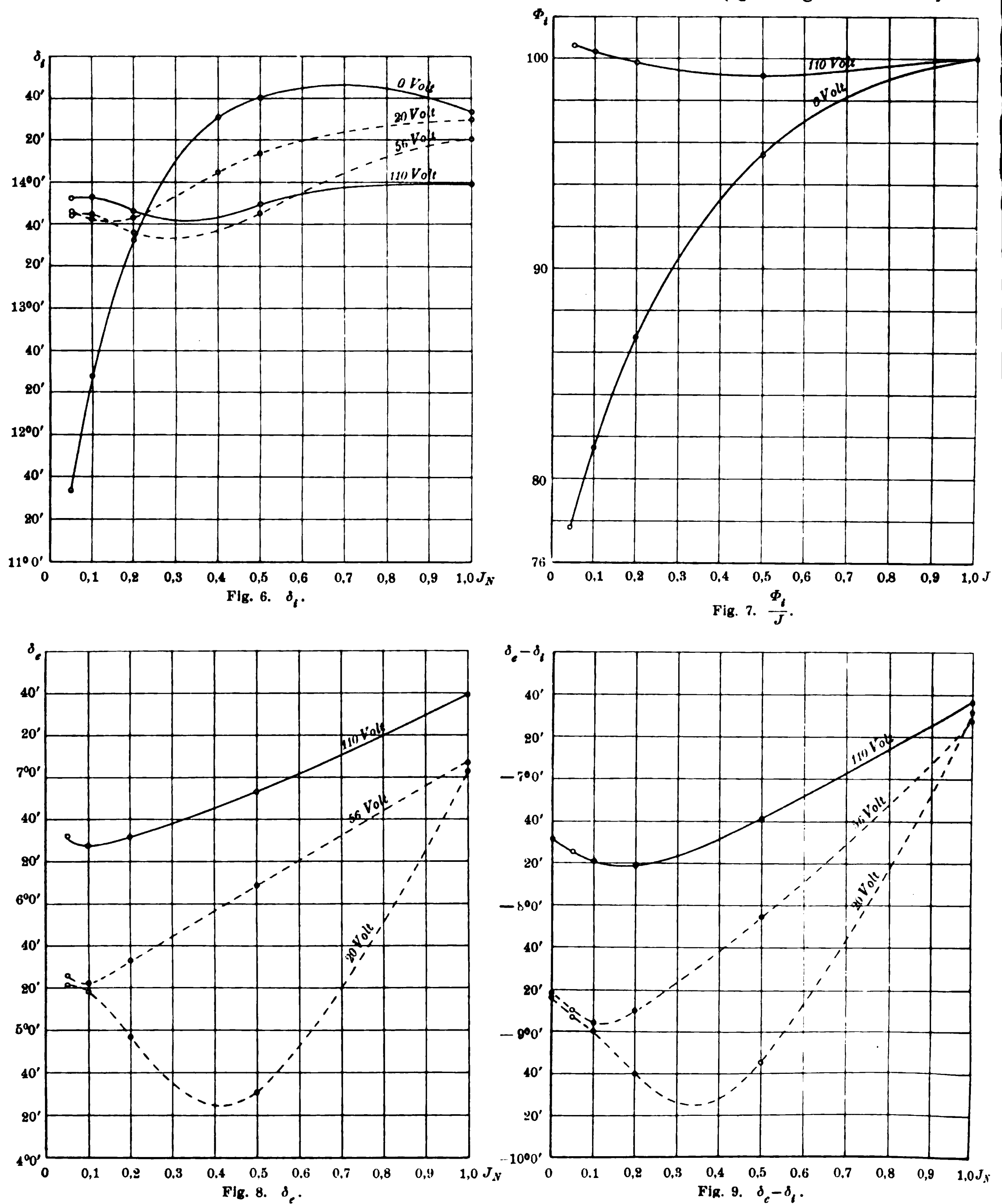


Fig. 6. δ_i.

Fig. 7. $\frac{\Phi_i}{J}$.

Fig. 8. δ_e.

Fig. 9. $\delta_e - \delta_i$.

vergleichen zu können. Die so berechneten Werte von $\delta = \delta_e - \delta_i$ sind in Fig. 9 wiedergegeben; die Abhängigkeit von δ von der Stromstärke und der Spannung zeigt dasselbe charakteristische Verhalten wie es früher nach der Stillstandsmethode gefunden wurde. Bemerkenswert ist, daß die Abhängigkeit des δ von der Stromstärke, die im vorliegenden Fall zwischen der Nennstromstärke

und dem 20. Teil derselben 1°10′ beträgt, nicht dem Einfluß der Stromstärke auf den Winkel des Stromflusses, wie man bisher annahm, zuzuschreiben ist, sondern hauptsächlich dem Einfluß des Stromflusses auf den Winkel des Spannungsflusses.

Eine ähnliche gegenseitige Beeinflussung wurde auch bei den Zählern der Bauart II festgestellt; sie war entsprechend den früheren Beobachtungen wesentlich geringer und bei den Zählern der Bauart III verschwindend klein.

Auch die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung ist auf die gegenseitigen Beeinflussungen bei dem Zähler der Bauart I von beträchtlichem Einfluß.

52. Taster für die Thomsonbrücke[1].

Bei der Prüfung von Maschinen wird die Temperaturerhöhung der ruhenden Wicklungen aus der Widerstandszunahme ermittelt; bei Wechselstromwicklungen (Asynchronmotoren) wird der Widerstand in der Regel mit der Thomsonbrücke gemessen, die nach Abschalten des Betriebswechselstromes möglichst schnell an den Prüfling anzulegen ist, wobei 4 Leitungen, 2 Hauptstromleitungen und 2 Brückenleitungen anzudrücken sind. Beim Abrutschen einer der Leitungen erhält das Brückengalvanometer einen gefährlichen Stromstoß.

Es wurden deshalb Taster gebaut, die einen Kontaktdorn und darüber, durch eine Feder nach vorn gedrückt, eine Kontakthülse haben. Beim Aufsetzen des Tasters auf die Klemmen des Prüflings macht zuerst die vorstehende Hülse Kontakt, beim Zurückdrücken derselben dann erst der in ihr liegende Kontaktdorn; an der Hülse liegt die Brückenleitung, am Dorn die Hauptstromleitung. Bei dem an die „inneren" Leitungen angeschlossenen Taster ist auch der Dorn federnd gelagert, der beim Zurückdrücken einen Kontakt in der Galvanometerleitung schließt.

Die Taster schützen das Galvanometer sicher vor Stromstößen beim Abrutschen, sie ermöglichen es, daß nur ein Mann das Anlegen der Leitungen besorgt, die Übergangswiderstände an den Berührungsstellen der Hauptstromanschlüsse gehen nicht in die Messung ein.

53. Untersuchung von Dynamobürsten[2].

Die Untersuchung an Dynamobürsten wurde weitergeführt. Nach den Vorversuchen waren größere Änderungen an den Apparaten nötig, die erst zum Teil fertiggestellt sind.

54. Öl- und Lagerversuche, Messung der Dicke der Ölschicht bei Lagern[3].

Die Untersuchung über Lagerreibung konnte dank der weitgehenden Unterstützung seitens der Industrie fortgesetzt werden. In Verfolgung der im Tätigkeitsbericht 1921 (*diese Zeitschr. 42. S. 111. 1922*) beschriebenen Öl- und Lagerversuche wurde zur Messung der Dicke der Ölschicht bei Lagern die Methode mittels Beugungsstreifen weiter durchgebildet. Um die beiden Koordinaten der verlagerten Wellenachse gleichzeitig zu ermitteln, waren bisher zwei Apparate notwendig. Diese wurden zu einem Doppelapparat vereinigt. Fig. 10 stellt schematisch die Anordnung zur Bestimmung der beiden Koordinaten der Verlagerung einer Welle dar.

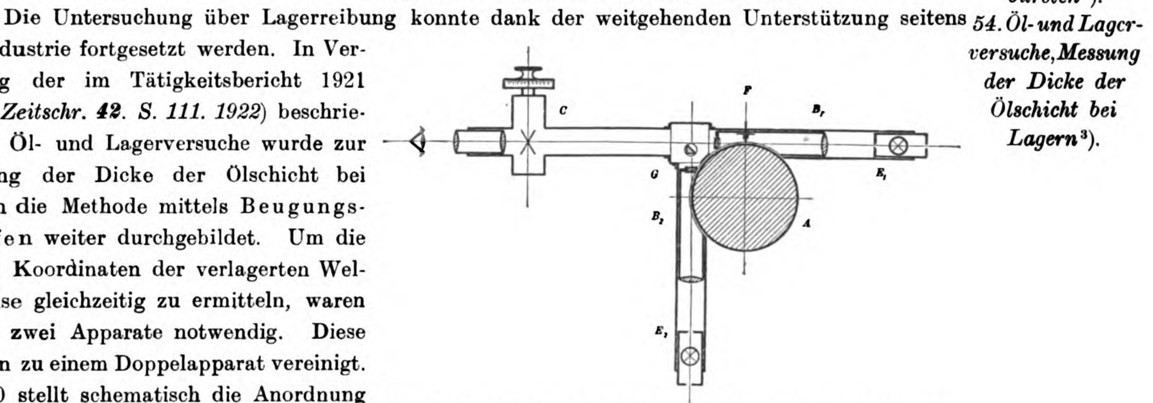


Fig. 10. Schematische Darstellung zur Messung beider Koordinaten der Verlagerung nach dem Beugungsstreifenverfahren. A Welle, B_1, B_2 Kollimatoren, C Mikroskop mit Okularmikrometer. E_1, E_2 Spaltblenden, F Hilfsblende, G Prisma.

Fig. 11 gibt das Gesichtsfeld des Mikroskopes für die gleichzeitige Beobachtung der Koordinaten wieder.

Mit dem Doppelapparat kann man gleichzeitig die beiden rechtwinkligen Koordinaten der Verlagerung eines Zapfens im Lager fortlaufend photographisch aufnehmen. Fig. 12 zeigt eine derartige Aufnahme. Man sieht zunächst das Aufwälzen beim Anlaufvorgang aus der Ruhelage und dann das Ausweichen des Zapfens beim freien Schwingen der Welle im Schmiermittel. Das Ausweichen bei reiner Flüssigkeitsreibung findet im Sinne der Bewegung in der unteren Lager-

---

[1]) Schering.
[2]) Vieweg, Menzel.
[3]) Vieweg, Wetthauer.

schale statt und ist der Seitenbewegung der Welle beim Aufwälzen und bei halbflüssiger Reibung entgegengesetzt. Es wurde die Verlagerung einer Welle im Anlauf und Auslauf bei verschiedenen Schmiermitteln aufgenommen, wobei sich wesentliche Unterschiede ergeben haben.

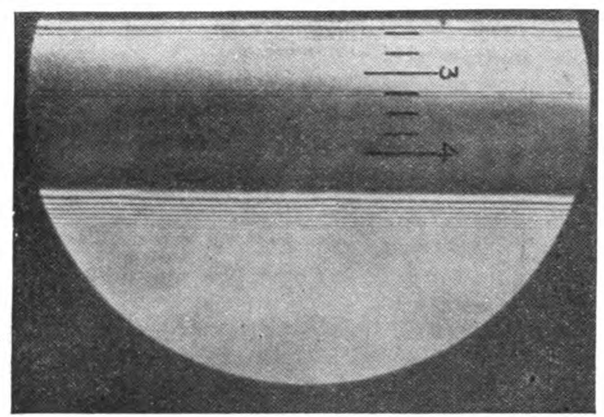


Fig. 11. Gesichtsfeld im Mikroskop zur Ausmessung beider Koordinaten der Verlagerung.

Über die bisherigen Ergebnisse der Öl- und Lagerversuche im Maschinenlaboratorium wurde auf den Hauptversammlungen des Vereins Deutscher Chemiker in Hamburg, der Gesellschaft für Braunkohlen- und Mineralölforschung in Berlin und des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung in Berlin kurz berichtet (Anh. Nr. 34). Eine ausführliche Abhandlung erscheint in der Zeitschrift der Vereins Deutscher Ingenieure.

55. Kippmoment von Synchron-Maschinen[1]).

Nach den im Tätigkeitsbericht 1921 (*diese Zeitschr.* ***42.*** *S. 112. 1922*) beschriebenen Meßverfahren wurde das Kippmoment einer 4poligen Drehstrom-Synchronmaschine bei einphasiger Belastung untersucht. Hierbei diente als Hilfsmotor für die Winkelmessung eine 8polige Sychronmaschine. Wegen der Verschiedenheit der Polzahlen ergaben sich 2 Möglichkeiten für die Anordnung der Meßscheiben, je nachdem der Netzvektor durch die Scheiben mit dem Spiegel (Index) oder durch die mit der Skala festgehalten wurde. Für beide Anordnungen wurden die Meßergebnisse bei Normalerregung der Maschine miteinander verglichen und vollkommene Übereinstimmung gefunden.

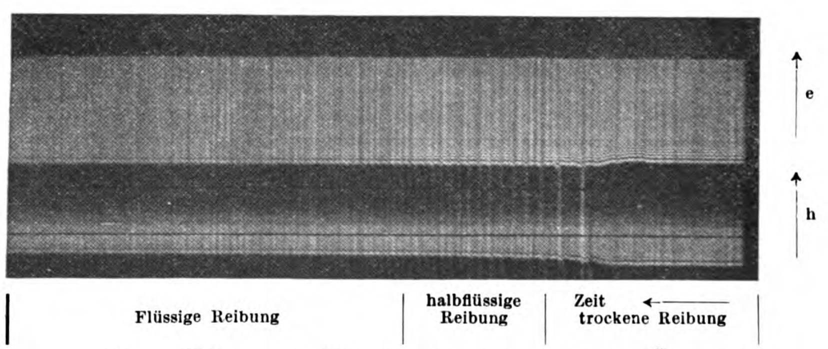


Fig. 12. Verlagerung der Welle beim Anlauf mit dünnflüssigem Öl. Höhenbewegung h, Seitenbewegung e bei normaler Drehrichtung.

Die Kurve der Kippmomente in Abhängigkeit von der EMK für den Motorbetrieb ergab wie bei dreiphasigem Betriebe eine sinusähnliche Kurve, beim Generatorbetrieb konnte jedoch das maximale Drehmoment bei Übererregung nicht erreicht werden. Auch die Kurve des Kippwinkels zeigt in Abhängigkeit von der EMK wesentliche Unterschiede gegenüber dem dreiphasigen Betrieb. Die Abweichungen beim einphasigen Generatorbetrieb werden auf die störend wirkenden Einflüsse der Oberwellen in der Strom- und Spannungskurve und der dadurch bedingten starken Veränderung der Kurvenform zurückgeführt. Die Leistungsänderung der Oberwellen tritt bei der Aufnahme der V-Kurven besonders deutlich in Erscheinung, indem hier bei rein Ohmscher Belastung der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ kleiner als 1 ist. Die Änderung beträgt beim Motor etwa 4%, beim Generator etwa 7%.

Die Untersuchung des Kippmomentes an Synchronmaschinen ist abgeschlossan und wird demnächst im Archiv für Elektrotechnik veröffentlicht werden.

[1]) Menzel.

Die Versuche zur Verbesserung der magnetischen Meßeinrichtungen wurden fortgesetzt, konnten aber wegen anderer dringlicher Aufgaben noch nicht abgeschlossen werden. *56. Verbesseruug der magnetischen Meß-einrichtungen*[1].

Die Versuche zur Herstellung eines verbesserten Materials für permanente Magnete sind zum Abschluß gebracht worden; die günstigsten Resultate gab eine Legierung von Eisen mit 1 bis 1,3 °/₀ C, 4 bis 5 °/₀ Mn, 4 bis 5 °/₀ Cr und 30 bis 33 °/₀ Co, doch kommt man auch mit etwa 20 °/₀ Co schon recht weit, was bei den hohen Preisen für das Material von praktischer Bedeutung ist. Zur Untersuchung gelangte eine große Anzahl von Legierungen in Stabform, die von der Firma Friedr. Krupp in weitgehendem Entgegenkommen nach den Angaben der Reichsanstalt hergestellt und auf die nötigen Abmessungen gebracht wurden. Diese wurden in der Reichsanstalt bei verschiedenen Temperaturen in Wasser und in Öl gehärtet; sodann wurde bei sämtlichen Proben mit dem Joch bzw. Magnetometer Remanenz und Koerzitivkraft gemessen, bei den besseren auch der Temperaturkoeffizient sowie die Haltbarkeit bei Erschütterungen, Erwärmungen und beim ungestörten Lagern bestimmt. Unter günstigen Bedingungen konnte bei hinreichend hoher Magnetisierung eine Koerzitivkraft von 227 Gauß bei einer Remanenz von 9300 erzielt werden; das Material übertrifft also in bezug auf Leistungsfähigkeit namentlich bei kurzen, gedrungenen Stabmagneten und schlecht geschlossenen Hufeisenmagneten weitaus die besten Wolfram- und Chromstahlmagnete. Auch der Temperaturkoeffizient sowie die Empfindlichkeit gegen Erschütterungen erwiesen sich als sehr gering, während die Empfindlichkeit gegen Erwärmungen etwas größer zu sein scheint als bei den bisher verwendeten Magnetstahlsorten. Die ausführlichen Ergebnisse sind im Druck. *57. Herstellung eines verbesserten Materials für permanente Magnete*[2].

Ein Material, welches gute magnetische Eigenschaften mit sehr geringem elektrischen Leitvermögen verbindet, würde wegen der Beseitigung des Einflusses der Wirbelströme nicht nur in wissenschaftlicher Beziehung von hohem Interesse sein, sondern auch in der drahtlosen Telegraphie usw. erhebliche Dienste leisten können; es wurden deshalb Versuche mit Schmelzen aus Eisenoxyd, Kupferoxyd und Bleioxyd begonnen, auf deren Eigenschaften S. Hilpert in einem früheren Aufsatz (*Ber. d. deutschen Phys. Ges. 1909, S. 296*) hingewiesen hatte. Die Versuche, deren Durchführung mancherlei Schwierigkeiten darbietet, sind noch im Gang. *58 Ferromagnetisches Material mit geringem elektrischen Leitvermögen*[1].

Die begonnenen Versuche mit vakuumgeschmolzenen Legierungen aus reinstem Elektrolyteisen mit Si, Al usw. wurden mit Hilfe der Firma Heraeus, Hanau fortgesetzt. Auf Veranlassung des Telegraphentechnischen Reichsamts wurden Versuche über die Brauchbarkeit verschiedener Eisensorten zur Umhüllung von Kabeln in Angriff genommen. Einzelheiten können zur Zeit noch nicht berichtet werden. *59. Einfluß der chemischen Zusammensetzung und thermischen Behandlung auf die Magnetisierbarkeit von Eisenlegierungen.*

Abteilung III.

Unterabteilung IIIa.

Bei 0°, 50° und 100° werden die Isothermen von Stickstoff und Sauerstoff bis 100 Atm. gemessen und veröffentlicht (Anhang 1 Nr. 52). Der Unterschied zwischen den aus diesen Messungen nach dem Mengenverhältnis berechneten pv-Werten der Luft und den früher beobachteten beträgt meistens nur einige Zehntausendstel, fällt also in die Fehlergrenze; nur bei 50° und noch mehr bei 0° fällt er bei höheren Drucken darüber hinaus und erreicht im Maximum bei 0° und 100 Atm. 0,15 °/₀. *60. Zustandsgleichung der Gase*[3].

Die weiteren Beobachtungen, die bei höherer und tieferer Temperatur angestellt werden müssen, würden sich vereinfachen lassen, wenn man statt des bisher benutzten Piezometers mit eingeschlossenem Glasgefäß ein Metallgefäß benutzen könnte. Es wurde zunächst der Versuch mit einem eisernen Gefäß gemacht, in dem die pv-Werte für Stickstoff bei 0°, 50° und 100° beobachtet wurden. Der Vergleich der auf diese Weise erhaltenen Isothermen stimmte mit den früher im Glasgefäß gemessenen bei 50° und 100° überein, bei 0° sind die Beobachtungen noch nicht ganz abgeschlossen.

---

[1]) Gumlich, Steinhaus.
[2]) Gumlich.
[3]) Holborn, Otto.

61. Sättigungsdruck von Sauerstoff und Stickstoff[1].

Die Beobachtungen über den Sättigungsdruck von Sauerstoff wurden bis — 205° fortgesetzt. Außerdem wurde nach derselben Methode der Sättigungsdruck von Stickstoff zwischen — 195 und 205° gemessen. Für beide Gase wurden die Tensionsthermometer wiederholt neu gefüllt, ohne daß sich Unterschiede gezeigt hätten. Zur Temperaturmessung dienten zwei Helium-Thermometer mit Gefäßen von 300 und 100 ccm Inhalt. Die Angaben beider Instrumente stimmten auf 0,03° überein. Die vorläufigen Ergebnisse der Messungen sind, bezogen auf das große Gasthermometer, in der folgenden Tabelle enthalten. Die Untersuchung konnte noch nicht zu Ende geführt werden, weil das für den Thermostaten benötigte große Vakuummantelgefäß wiederholt zersprang und der Ersatz stets großen Zeitverlust verursachte.

p mm Hg	Sauerstoff °	Stickstoff °
50	— 202,86	—
100	— 198,74	—
150	— 196,08	—
200	— 194,05	— 205,61
300	— 191,00	— 202,93
400	— 188,69	— 200,88
500	— 186,82	— 199,20
600	— 185,19	— 197,77
700	— 183,76	— 196,50
760	— 182,99	— 195,82
800	—	— 195,38

Es besteht die Absicht, die Beobachtungen bis zum Erstarrungspunkt des Stickstoffes fortzusetzen.

62. Strahlung von Wolfram und Platin[1].

Das Emissionsvermögen von Wolfram wurde nach einer neuen Methode bestimmt. Die Osram-Studiengesellschaft hatte zu diesem Zweck eine Anzahl Wolfram-Bogenlampen zur Verfügung gestellt, bei denen auf Wunsch die Wolframkugel (Anode), deren Durchmesser etwa 2,5 mm beträgt, mit einer zylindrischen Bohrung von 0,5 mm Durchmesser und etwa 2 mm Tiefe versehen war. Im Glühzustand tritt aus dieser Bohrung schwarze Strahlung aus, während die Oberfläche der Kugel als blanker Körper emittiert. Das Verhältnis beider Helligkeiten liefert das Emissionsvermögen des Metalles unter der Annahme, daß ihnen die gleiche Temperatur zugehört. Bei der Kleinheit der Kugel traf diese Voraussetzung genau genug zu. Besondere Beobachtungen ergaben, daß nur die Stelle, an der der Elektronenstrom von der Kathode her auftraf, merklich heißer war als die übrigen Teile der Kugel.

Durch langsame Steigerung des Lampenstromes wurde die Wolframkugel zum Schmelzen gebracht. Hierbei nahm die Temperatur so langsam und stetig zu, daß der schwarzen Strahlung, welche unmittelbar vor dem Zusammenfallen der Bohrung gemessen wurde, die Schmelztemperatur des Wolframs zugeordnet werden konnte. Als Korrektion war die Schwächung der Strahlung durch die Glasglocke, die durch das verdampfende Metall leicht geschwärzt wurde, in Ansatz zu bringen. Die Messungen wurden mit dem bereits früher verwendeten Mikropyrometer im roten und grünen Licht angestellt. Dies Instrument wurde mit einem schwarzen Körper erneut geeicht, und zur Bestimmung von Helligkeitsverhältnissen wurden seine Angaben mehrfach mit Hilfe des rotierenden Sektors nachgeprüft. Die Intensität der strahlenden Wolframkugel wurde nach der früher beschriebenen Methode mittels Linse und Magnesiaschirm auf die geeignete Helligkeit gebracht.

Nach der vorläufigen Berechnung besitzt Wolfram im Rot das Emissionsvermögen $E = 0{,}45$, im Grün $E = 0{,}47$. Diese Zahlen stützen sich auf Messungen zwischen 2700° und 3400° und bestätigen das früher schon für andere Metalle gefundene Ergebnis, daß das Emissionsvermögen im sichtbaren Gebiet von der Temperatur unabhängig ist und am Schmelzpunkt keine Unstetigkeit aufweist. Der Schmelzpunkt des Wolframs wurde etwa zu 3400° C gefunden.

[1]) Henning, Heuse.

Zur Prüfung der Methode wurde auf die gleiche Weise das Emissionsvermögen von Platin bestimmt, indem eine Platinkugel von 2 bis 3 mm Durchmesser, die mit einer kleinen Bohrung versehen war, in der Flamme eines Bunsenbrenners oder eines Luft- oder Sauerstoffgebläses erhitzt wurde. Es gelang so, Glühtemperaturen von genügender Konstanz zu erzielen; doch ließ sich die Temperatur nicht so weit regulieren, daß auch der Schmelzpunkt bestimmt werden konnte. Für das Emissionsvermögen zwischen $t = 1050$ und $t = 1680^0$ wurden unabhängig von der Temperatur die Werte $E = 0{,}34$ im Rot und $E = 0{,}37$ im Grün gefunden, die sich mit älteren Messungen in der Glühhitze und bei Zimmertemperatur in genügender Übereinstimmung befinden.

63. Palladiumschmelzpunkt[1].

Für eine Bestimmung des Palladiumschmelzpunktes mit dem Gasthermometer wurde ein elektrischer Ofen hergestellt. Durch Vorversuche wurde die Temperaturverteilung im Ofen untersucht und durch Zusatzheizspulen verbessert. Mit den endgültigen Messungen wird demnächst begonnen werden.

64. Kohlenkrater als Lichtquelle[1].

Es wurde untersucht, wie weit die Anode des Kohlenlichtbogens als eine Lichtquelle konstanter Flächenhelligkeit dienen kann. Verwendet wurden 7 mm dicke Homogenkohlen in einem Abstande von 3 mm; die Stromstärke betrug 20 bis 25 A bei rotierender Anode, von deren weißglühender Vorderfläche ein Bild auf einem Magnesiaschirm entworfen und dessen Helligkeit mit dem Mikropyrometer gemessen wurde. Eine Änderung der Stromstärke um 10 % übt keinen merklichen Einfluß auf die Flächenhelligkeit aus. Die schwarze Temperatur ergab sich im Rot zu etwa 3500° C.

Nach diesen Versuchen kann die Kohlenbogenlampe bei der Eichung von Pyrometern in vielen Fällen den schwarzen Körper ersetzen.

65. Diffusion von Helium durch Glas[1].

Es wird durch Beobachtungen von längerer Dauer (Serien von Eispunktmessungen) festzustellen gesucht, ob Helium schon bei Zimmertemperatur merklich durch Glas diffundiert oder von Glas adsorbiert wird. Zu diesem Zwecke sind zwei nur aus Glas bestehende Heliumthermometer, bei denen Kittungen vermieden sind, hergestellt worden. Die eigentlichen Gasthermometergefäße sind zur Hälfte mit Vakuummänteln umgeben, in denen etwa hineindiffundiertes Helium spektroskopisch nachgewiesen werden kann.

66. Diffuses Reflexionsvermögen[1].

Die im vorigen Bericht erwähnten Messungen über die diffuse Reflexion an Magnesia wurden zu Ende geführt und veröffentlicht. (Vgl. Anhang 1 Nr. 51.)

67. Druckabfall von Gasen und Flüssigkeiten beim Strömen durch Rohre[2].

Große Gasmengen werden in der Technik vielfach aus dem Druckabfall beim Strömen durch Düsen oder Stauränder bestimmt. Die Eichung dieser Meßgeräte, die bisher nur ganz vereinzelt an großen Gasometern vorgenommen wurde, macht besondere Schwierigkeiten. Da die in der Reichsanstalt ausgeführten Messungen des Druckabfalles in glatten Rohren ergeben haben, daß glatte Rohre mit sorgfältigen Anbohrungen für die Druckmessung als Normalmeßgeräte an Stelle von Gasometern dienen können (Anhang 1, Nr. 53), hat der Ausschuß für Ventilatoren und Kompressoren des Vereins Deutscher Ingenieure auf Anregung und unter Leitung von Professor Jakob eine Anzahl von Normaldüsen und Staurändern an zum Teil eigens für diese Versuche hergestellten glatten Rohren eichen lassen. Für die Messungen hat die Firma Danneberg & Quandt den Versuchsstand ihrer Fabrik in Berlin-Lichtenberg zur Verfügung gestellt.

Zum Vergleich kamen zwei Messingrohre von 70 und 100 mm lichter Weite und je 7 m Länge, drei Normaldüsen von 70, 140 und 200 mm Durchmesser, eine abnormal kurze 80 mm weite Holzdüse und zwei Stauränder mit Öffnungen von 184 und 261 mm Durchmesser. Ein elektrisch angetriebener Ventilator drückte die aus dem Versuchsraum angesaugte Luft durch ein Rohrsystem, in das vor den Versuchsrohren, Düsen oder Staurändern Richtflächen und Netze eingelegt waren. Die drei Normaldüsen waren vorschriftsmäßig in Rohre von 175, 350 und 500 mm lichter Weite eingebaut und wurden als Ausflußdüsen und als Durchflußdüsen geprüft.

Zur Messung der Druckdifferenzen dienten mit Alkohol oder Petroleum gefüllte Manometer, z. T. schräg liegende Mikromanometer. Die Temperatur der strömenden Luft und der Rohrwände wurde mit Thermoelementen, die Feuchtigkeit der Luft mit einem Psychrometer, der

[1]) Henning, Heuse.

[2]) Jakob, Erk.

äußere Luftdruck mit einem Aneroidbarometer gemessen, das wiederholt mit dem Barographen der Reichsanstalt verglichen wurde. Die Luftmenge ließ sich durch Tourenregelung des Antriebmotors und durch Drosselung in der Ansaugeöffnung des Ventilators in weiten Grenzen bis zu höchstens 1800 cbm/h verändern.

Die Versuche, an denen sich auch Mitglieder des genannten Ventilatorenausschusses beteiligten, nahmen mehrere Monate in Anspruch. Die Auswertung der 67 endgültigen Versuche, die als Unterlagen für die neuen Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren dienen sollen, ist noch nicht ganz abgeschlossen.

Die bei den beschriebenen Versuchen verwendete Eichmethode setzt voraus, daß die zwei Konstanten der Blasiusschen Gleichung für den Druckabfall in Rohren bekannt sind. Die im vorigen Tätigkeitsbericht angeregte Neubestimmung dieser Konstanten mit einem Wasserstrom von etwa 30 kg/h wird zur Zeit vorbereitet.

68. Wärmeleitvermögen von Flüssigkeiten[1]. Vorversuche an Toluol bei — 76° ergaben noch keinen genauen Wert des Temperaturkoeffizienten der Wärmeleitfähigkeit; fest steht jedoch bereits, daß dieser Koeffizient sehr klein ist.

Weitere Messungen mußten — ebenso wie die für Quecksilber vorbereiteten — wegen umfangreicher Prüfungen fester Stoffe für die Industrie zurückgestellt werden.

69. Wärmeleitvermögen schlecht leitender fester Stoffe[1]. Mit dem ursprünglich für Flüssigkeiten benutzten Verfahren, bei dem eine dünne Schicht des Versuchsstoffes zwischen zwei Kupferplatten liegt und in der Richtung nach unten von Wärme durchströmt wird, sind bereits im letzten Berichtsjahr auch schlecht leitende feste Stoffe untersucht worden (s. Tätigkeitsbericht 1921, S. 40 und Anh. Nr. 2). Es war so möglich, mit einer verhältnismäßig kleinen Versuchsplatte zum Ziel zu kommen, während die sonst bekannten guten Verfahren zwei große Platten erfordern. Prüfanträge boten den Anlaß, das Verfahren auch zur Untersuchung poröser Stoffe, wie keramischer Massen zu verwenden. Dabei ergab sich jedoch eine Schwierigkeit, die eine Abänderung des Verfahrens erforderlich machte. Während nämlich bei nicht porösen Stoffen eine Ölschicht von einigen Tausendstel Millimeter für einen einwandfreien Wärmeübergang zwischen den Kupferplatten und der Versuchsplatte genügte, saugen poröse Massen das Öl auf. Daher wurde Paraffin an Stelle von Öl in Schichten von etwa 0,03 mm zwischen die Platten gebracht. Jedoch weder durch heißes Verbinden und Lösen, noch durch hydraulisches Zusammenpressen der Platten mit ihren Paraffinschichten ließen sich Luftschichten völlig vermeiden, die natürlich den Wärmeübergang empfindlich beeinflussen. Erst als man die Versuchsplatten auf die mit gerade noch flüssigem Paraffin bedeckten Kupferplatten aufrieb, wurde die Luft zwischen den Platten völlig verdrängt, ohne daß Paraffin in die Versuchsmassen eindrang. Nach jedem Versuch wurden die Platten durch eine Abpreßvorrichtung in kaltem Zustand voneinander gelöst, wonach sich jede etwa eingedrungene Luftspur an der Paraffinoberfläche mit Sicherheit erkennen und die Dicke der Paraffinschicht genau messen ließ.

Das Wärmeleitvermögen des für die Messungen verwendeten Paraffins (Schmelzpunkt 66°, spezifisches Gewicht 0,92) wurde durch besondere Versuche bei 23° zu 0,00064 cal cm^{-1} s^{-1}. $Grad^{-1}$ bestimmt.

Im Berichtsjahr wurde die Prüfung von 16 keramischen Massen erledigt, deren Wärmeleitfähigkeit bei 28° zwischen 0,0024 und 0,0038 lag.

70. Wärmeleitvermögen von Metallen[2]. Der 80 prozentige Kruppsche Nickelstahl, dessen Wärmeleitfähigkeit im vorigen Berichtsjahr bei 29° zu 0,0291, bei 71,5° zu 0,0312 bestimmt worden war, wurde später verschiedenen Wärmebehandlungen unterworfen. Durch Glühen bei 700°, durch Kühlen bei — 30° und bei — 78° änderte sich die Wärmeleitfähigkeit nicht merklich, dagegen stieg sie nach dem Kühlen auf — 185° um etwa 2 bis 4 %. Von einer Zunahme um 65 bis 100 %, wie sie Honda nach dem Kühlen von Stahl gleichen Nickelgehaltes beobachtet hat, ist also bei dem Kruppschen Nickelstahl keine Rede. Die Versuchsergebnisse sind veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 54).

71. Differenzdruckmesser[3]. Die wesentlichsten Teile des im vorigen Tätigkeitsbericht erwähnten Differenzdruckmessers sind so weit fertiggestellt, daß mit Vorversuchen begonnen werden kann. Das Instrument besteht

[1] Jakob, Erk.
[2] Jakob, Disch.
[3] Jakob.

aus einem hin- und herschwingenden Differentialkolben ohne Dichtung, auf dessen gleiche Endflächen die Drucke wirken, deren Differenz gemessen werden soll. Die Druckdifferenz wird von den Kolben auf auswechselbare Federn verschiedener Stärke und von da auf ein Zeigerwerk übertragen und an einer Skala abgelesen.

72. Verdampfungswärme des Wassers bei höheren Drucken[1].)

Unterhalb des Druckes von 10 Atm. sind die Verdampfungswärme des Wassers und das spezifische Volumen des gesättigten Wasserdampfes aus den Versuchen von Henning in der Reichsanstalt und von Knoblauch, Linde und Klebe genau bekannt, oberhalb dieses Druckes dagegen noch sehr unsicher. Da man nun in der Technik bereits Kessel und Maschinen für den Druck von 60 Atm. gebaut hat, soll die Verdampfungswärme oberhalb 10 Atm. bestimmt werden. Das spezifische Volumen kann dann berechnet werden, da Holborn und Baumann früher die Abhängigkeit des Druckes von der Temperatur bestimmt haben. Der Verein Deutscher Ingenieure unterstützt die Untersuchung mit Mitteln, die ihm von der Industrie für diesen Zweck zur Verfügung gestellt worden sind.

Die Messungen sollen nach der von Henning früher verwendeten Methode ausgeführt werden. Die Konstruktion der wichtigsten Teile der Versuchsanordnung ist so weit gediehen, daß demnächst mit dem Bau der einzelnen Stücke begonnen werden kann.

Unterabteilung III b.

73. Übersicht über die Prüfungen[2]).

Im Jahre 1922 wurden folgende Gegenstände geprüft:

I. Ausdehnungsthermometer.

2111 (1152) feine Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,01°, geprüft in Temperaturen bis 100°, hiervon 521 Kalorimeterthermometer,
3068 (2133) Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,1°, geprüft in Temperaturen bis 100°,
43 (43) Siedethermometer für Höhenmessungen,
139 (104) Beckmannsche Thermometer,
75 (97) Tiefseethermometer, auf Drucke bis 600 Atm. geprüft,
3448 (3057) hochgradige Thermometer, z. T. geprüft in Temperaturen bis 750°,
78 (72) tiefgradige Thermometer, darunter 46 (35) Pentanthermometer für Temperaturen bis — 190°,

zusammen 8962 (6658) Thermometer.

Ferner:

521 196 (141 839) Fieberthermometer.

II. Elektrische und optische Thermometer.

14 (14) Widerstandsthermometer,
269 (184) Thermoelemente, darunter 170 (116) aus Platin-Platinrhodium, 30 (40) Konstantan-Silber, 6 (4) Konstantan-Kupfer, 40 (21) Konstantan-Eisen, 1 (0) Konstantan-Chromnickel, 4 (2) Kohle-Nickel, 1 (0) Konstantan-Manganin, 17 (0) Nickel-Chromnickel,
11 (9) Millivoltmeter für thermoelektrische Zwecke,
5 (2) Wannersche Pyrometer, davon 3 mit je einem Rauchglas,
9 (85) Pyrometerlampen, davon 6 Metallfaden- und 3 Kohlefadenlampen,
4 (1) Prismensätze für Lichtschwächung,
12 (0) Rauchgläser,
1 (1) Reflexionsprisma,
3 (0) Strommesser,
} für das Holborn-Kurlbaumsche Pyrometer,

zusammen 328 (316) Apparate.

---

[1]) Jakob.

[2]) Scheel, Grützmacher, Jakob, Hoffmann, Moeller, Disch, Ebert, Blankenstein, Erk.

III. Instrumente für Druckmessung.

1 (0) Druckwage mit Differentialkolben und Prüfung der zugehörigen Gewichte,

39 (2) Quecksilberbarometer, darunter 30, deren Skale in Millibar geteilt war,

5 (5) Aneroidbarometer,

41 (39) Manometer für verschiedene Meßbereiche, darunter 1 bis 1000 kg/cm²,

1 (0) Glaskolben von 19 cm Durchmesser auf Innendruck,

1 (0) Quarz-Stufenstrahl-Hochvakuumpumpe,

zusammen 88 (47) Druckmeßinstrumente.

IV. Apparate zur Untersuchung des Erdöls.

66 (71) Petroleumprober, darunter 2 mit Ersatzthermometern und 4 für hohe Temperaturen,

10 (13) Flammpunktprüfer,

634 (557) Zähigkeitsmesser, darunter 373 (327) nach Ubbelohde, 12 (15) für höhere Temperaturen, 57 (37) mit Zehntelgefäß sowie 2 (4) vierfache und 2 (2) zweifache,

8 (6) Siedeapparate für Mineralöle,

zusammen 718 (647) Apparate für Erdöle.

V. Sonstiges.

1 (0) Sauerstoff-(Spannungs-)thermometer,

30 (0) Proben auf spezifische Wärme,

25 (37) Verbrennungskalorimeter (Bestimmung des Wasserwertes auf elektrischem Wege),

1 (0) Mikrokalorimeter (auf Wasserwert und Wärmeverlust),

1 (0) Chromnickelband auf Mikanit gewickelt,

6 (40) Gaskocher,

15 (11) Stoffe auf Ausdehnung,

8 (6) Posten = 430 (280) Legierungsringe für Schwartzkopffsche Dampfkessel-Sicherheitsapparate,

1 (1) Bestimmung der Zähigkeit von Öl,

298 (430) hochgradige Thermometer unter Druck elektrisch abgeschmolzen,

16 (0) keramische Massen auf Wärmeleitvermögen,

zusammen 402 (573) Gegenstände.

Die Prüfungstätigkeit der Unterabteilung IIIb ist gegenüber dem Vorjahre auf fast allen Gebieten wiederum sehr gewachsen, z. B. bei den nichtärztlichen Thermometern um fast 40%, wodurch die üblichen Abfertigungsfristen von 3 bis 4 Wochen erheblich, für Anschützsätze und hochgradige Quarzglasthermometer sogar auf 8 bis 10 Wochen heraufgesetzt werden mußten. Ein Rückgang der Prüftätigkeit ist noch nicht zu bemerken.

74. Quecksilberthermometer. a) Allgemeines.

Von den 8962 nichtärztlichen Thermometern entsprachen 689 nicht den Prüfungsvorschriften, 80 gingen beschädigt ein, 184 — einschließlich 132 Stück freiwillig gesprungener Instrumente — wurden bei der Prüfung beschädigt; im ganzen mußten demnach 953 Thermometer, d. h. 10,6% aller eingereichten nichtärztlichen Thermometer als unzulässig zurückgewiesen werden.

b) Arbeitsnormale[1].

Die Kontrollvergleichungen der Arbeitsnormale für höhere Temperaturen mit dem Platinthermometer konnten aus Mangel an Zeit bisher noch nicht wieder ausgeführt werden, sind aber nun für Februar 1923 in Aussicht genommen. In diese Vergleichungen werden eine größere Zahl von Ersatzinstrumenten mit einbezogen werden. Dagegen sind 2 schon längere Zeit in Arbeit befindliche Normalthermometer von 50 bis 100° gebrauchsfertig gemacht und 3 Kalorimeternormale kontrolliert und nach vollständiger Kalibrierung von 0,5 zu 0,5° neu bestimmt worden.

75. Fieberthermometer[2].

Die Durchführung des Gesetzes über die Prüfung und Beglaubigung der Fieberthermometer hat im Berichtsjahre viel Verwaltungsarbeit gebracht; besonders verursachte die Anpassung der

[1]) Scheel, Grützmacher, Moeller.

[2]) Scheel, Grützmacher, später Ebert.

Gebühren an die Geldentwertung viel Mühe. Die Prüfstelle ist jetzt in drei großen ausgebauten Räumen des Hauptgebäudes vereinigt. Das Personal bestand im Anfang des Jahres aus einem Techniker, 2 Kriegsbeschädigten und 39 Laborantinnen, deren Zahl sich bis Mitte Februar auf 54 erhöhte. Im Laufe des Jahres schieden 5 Laborantinnen aus; am 31. Dezember wurden weitere 10 Laborantinnen wegen Einschränkung des Betriebs entlassen.

76. Thermometerprüfungsanstalten unter Aufsicht der Reichsanstalt[1].

Das Staatsprüfamt in Ilmenau hat seine Prüfungstätigkeit für Laboratoriums-, meteorologische und andere nichtärztliche Thermometer um die Mitte des Jahres 1921 stark eingeschränkt und erst im Oktober 1922 wieder voll aufgenommen. Die Zahl der dort eingereichten Thermometer betrug während des Jahres 1922: 1486 Laboratoriums-, 265 meteorologische, 2602 gewerbliche und 663 Thermometer für den häuslichen Gebrauch; insgesamt 5016 Instrumente. 1410 hochgradige Thermometer wurden künstlich gealtert.

Die Tätigkeit der drei Ämter — Ilmenau, Gehlberg und Zerbst — in bezug auf die Prüfung von Fieberthermometern ist aus der nachstehenden Tabelle zu ersehen, in welcher auch die entsprechenden Zahlen für die Reichsanstalt aufgeführt sind.

		Reichsanstalt	Ilmenau	Gehlberg	Zerbst
Eingelieferte Fieberthermometer	gewöhnliche	1 894	900	5 722	—
	Maximum	162 948	1 125 375	687 067	65 020
	Minuten-Maximum	356 354	2 403 046	945 455	640 540
	Einschluß-thermometer zugeschmolzen	361 232	(3 100 000)	1 247 523	696 450
	Einschluß-thermometer zugesiegelt	20 549	(1 200)	15 237	—
	Stabthermometer	139 415	(428 121)	375 484	9 110
insgesamt		521 196	3 529 321	1 638 244	705 560
davon zulässig	mit Stempel	404 858	3 090 744	983 004	404 290
davon zulässig	ohne Stempel	79 144	284 436	584 587	256 532
davon unzulässig %		7,1	4,4	4,3	6,3

Die eingeklammerten Zahlen sind auf das ganze Jahr berechnet, aus Angaben, die für das zweite Halbjahr vorliegen.

Neuerdings mehren sich die Anträge, Fieberthermometer nicht nach den deutschen, sondern nach strengeren Vorschriften anderer Länder zu prüfen; auch werden in zunehmendem Umfang Prüfungsscheine gefordert, darunter vielfach solche mit Fehlerangaben an vier und sogar an fünf Skalenstellen.

77. Vakuummeter[2].

Von Apparaten zur Messung hoher Vakua wurden untersucht zwei Hitzdrahtinstrumente, das eine mit Thermoelement, das andere mit Bolometer, und ein Rieggersches Manometer, das auf der Radiometerwirkung beruht. Alle wurden mit einem Mc Leodschen Kompressionsmanometer verglichen bis zu einem Vakuum von 10^{-4} bis 10^{-5} mm Quecksilber, wo die Empfindlichkeit aller Instrumente stark abnimmt. Das Rieggersche Manometer, bei dem die Erweiterung des Meßbereichs am aussichtsvollsten schien, wurde mit einem zweiten Flügelrade versehen und für die Beobachtung mit Spiegel und Skale eingerichtet. Messungen mit dieser Abänderung stehen noch aus.

Anwendungen fanden die Vakuummeter zu Versuchen über die Wirkung verschiedener Pumpen: der rotierenden Gaedeschen Pumpe, der Kondensationspumpe nach Langmuir in der Ausführung von Siemens & Halske und von Gaede-Leybold, sowie einer Quarzglaspumpe von Hanff & Buest. Beobachtet wurde besonders die Abhängigkeit der Sauggeschwindigkeit vom Vorvakuum.

Versuche zur Messung hoher Vakua, bei denen in Verstärkerröhren der Ionenstrom gemessen werden soll, wurden vorbereitet.

[1]) Scheel.
[2]) Ebert.

[illegible] Platinschmelzpunkt[1]).

Die Untersuchungen über den Platinschmelzpunkt sind abgeschlossen worden. Als schwarzer Strahler diente beim Platin- und Goldschmelzpunkt ein im Iridiumofen befindlicher Hohlraum mit Wänden aus Magnesia, dessen Temperatur mit dem Thermoelement aus Iridium-Iridiumruthenium gemessen wurde. Bei der unteren Temperatur wurde außerdem ein Lummer-Kurlbaumscher Strahler mit Platinfolie hinzugezogen. Die Helligkeit des Hohlraumes, gemessen mit dem König-Martensschen Spektralphotometer, erwies sich im Iridiumofen beim Goldschmelzpunkt als in geringem Maße abhängig von der Anordnung des Thermoelementes; und zwar ergab sich bei der ersten Anordnung eine etwas geringere, bei der zweiten eine um fast denselben Betrag größere Helligkeit als in dem Platinofen. Trotzdem wurde im Iridiumofen für das Helligkeitsverhältnis vom Platin- und Goldschmelzpunkt mit bemerkenswerter Übereinstimmung stets derselbe Wert V gefunden. Er betrug nach den letzten zuverlässigsten Beobachtungsreihen:

im Rot	$\lambda = 656{,}_3\,\mu\mu$	$V = 283$
„ Gelb	$589{,}_3$	545
„ Grün	$546{,}_1$	899,

woraus sich der Platinschmelzpunkt in der Skale der Reichsanstalt ($c = 14300$, $t_{Au} = 1063^0$ C) zu $t_{Pt} = 1772^0$ C ergibt.

Bei den letzten Beobachtungsreihen wurden beim Königschen Photometer teilweise wesentlich größere Spaltbreiten als früher verwendet (bis zu 0,5 mm am Okular- und am Kollimatorspalt), um die Einstellung durch Steigerung der Helligkeit sicherer zu machen. Unter diesen Umständen nimmt aber die Spaltbreitenkorrektion, d. h. die Korrektion, die an den Einstellungen anzubringen ist, um die Winkel auf die Spaltbreite Null zu reduzieren, verhältnismäßig große Beträge an. Sie konnten jedoch auf Grund einer genauen Durchrechnung berücksichtigt werden.

79. Lichtschwächungen für optisch-pyrometrische Zwecke[1]).

Eingehend untersucht wurde eine Reihe von Rauchgläsern, die zur Lichtschwächung beim Holborn-Kurlbaumschen Pyrometer benutzt werden sollen. Es lag hier die Frage vor, um welchen Betrag die wirksame Wellenlänge des durch das Pyrometer hindurchtretenden Lichtes durch Einschalten des Rauchglases verschoben wird und welchen Einfluß diese Verschiebung auf die Temperaturangabe des Instrumentes, besonders im Gebiete sehr hoher Temperaturen, ausübt. Die Untersuchung erstreckte sich hauptsächlich auf die beiden Jenaer Gläser F 3815 und F 7839 in Verbindung mit dem Jenaer Rotfilter F 4512 vor dem Okular. Die Messung der spektralen Durchlässigkeit ergab bei beiden Rauchgläsern eine beträchtliche Zunahme im Rot, die aber bei F 3815 viel größer war als bei F 7839. Theoretisch ließ sich aus dieser spektralen Durchlässigkeit des Rauchglases und der des Okularfilters, der spektralen Helligkeit des schwarzen Körpers und der Augenempfindlichkeit die Temperaturdifferenz bei Einstellung der Glühlampe mit und ohne Einschalten des Rauchglases in vollkommener Übereinstimmung mit den Beobachtungen berechnen. Zugleich ergab sich die Abhängigkeit dieser Temperaturdifferenz von der Temperatur des anvisierten schwarzen Körpers. Damit ist nicht nur die Möglichkeit gegeben, die Lichtschwächung gleichartiger Rauchgläser aus wenigen rein optischen Messungen mit größerer Genauigkeit als auf pyrometrischem Wege abzuleiten, sondern auch weitgehend in das Gebiet der höchsten Temperatur hinein mit Sicherheit zu extrapolieren.

Laboratorium für Radioaktivität.

80. Prüfung radioaktiver Präparate[2]).

Es wurden 259 (130) stark radioaktive Präparate nach der Gammastrahlen-Methode geprüft, darunter 63 Mesothor- und 5 Radiothorpräparate. Der Gesamtgehalt aller Präparate entsprach 2986 (1339) mg Radiumelement, davon entfielen 931 mg auf Mesothor- und Radiothor. — Bei einem Mesothorpräparat wurde auf besonderen Antrag die Absorbierbarkeit der Gammastrahlung in Blei gemessen und daraus auf das Alter des Präparats geschlossen. — 5 angeblich Radium enthaltende Präparate wurden wegen starker Mesothorbeimengung beanstandet. — Ein zur Prüfung eingeliefertes sehr hochkonzentriertes Radiumpräparat explodierte während der Aufbewahrung im Geldschrank, wahrscheinlich wegen zu hohen Feuchtigkeitsgehaltes des Salzes.

---

[1]) Hoffmann.
[2]) Geiger, Bothe.

Es gelang jedoch, das Salz nahezu quantitativ wieder aufzusammeln, trotzdem die beiden Glasröhrchen, in welche es eingeschlossen war, gänzlich zersplittert waren.

Es gelangten ferner 34 schwach radioaktive Materialien, wie Erzrückstände sowie verschiedene Emanatoren zur Prüfung. In den meisten Fällen wurde der Radium- bzw. Emanationsgehalt durch die sehr empfindliche Emanationsmethode bestimmt.

Die im Vorjahre begonnene Herstellung und Untersuchung von Radium-Normallösungen in Ampullenform wurde fortgesetzt. Die zeitliche Konstanz der Ampullen wurde erneut sichergestellt.

81. Untersuchungen an β-Strahlenbahnen nach Wilsons Nebelmethode[1].

Es gelang durch Verwendung von Beck-Kohlen die Beleuchtungsbedingungen bei dieser Methode so weit zu verbessern, daß β-Strahlenbahnen in Luft ebenso leicht photographisch aufgenommen werden können wie die von α-Strahlen. An Hand einer größeren Zahl von β-Strahlenaufnahmen konnte das gelegentliche Auftreten von Verzweigungen festgestellt werden. Diese sind so zu erklären, daß das β-Teilchen bei einem intensiven Zusammenstoß mit einem Atomelektron dieses mit erheblicher Geschwindigkeit aus dem Atomverbande herauszuschleudern vermag, während das β-Teilchen selbst mit verminderter Energie weiterfliegt. Weiterhin wurden Beispiele von großen Einzelablenkungen (bis 130°) auch an schnelleren β-Strahlen gefunden. Diese großen Ablenkungen entstehen, wenn ein β-Teilchen in unmittelbare Nähe eines Atomkernes gerät. Der beim Betrachten solcher Bahnaufnahmen leicht entstehende Eindruck der kontinuierlichen Krümmung konnte durch eingehende wahrscheinlichkeitstheoretische Analyse als Täuschung erwiesen werden.

82. Photographische Wirkung von α- und β-Strahlen[1].

Als Schwärzungsgesetz für β-Strahlen hatte sich früher mit großer Genauigkeit das Bunsen-Roscoesche ergeben (s. den Tätigkeitsbericht 1921). Dagegen glaubte Frl. Salbach (*Zeitschr. f. Physik 11. S. 107. 1922*) feststellen zu können, daß dieses Gesetz zwar für α-Strahlen, aber nicht für β-Strahlen gilt. Es konnte nachgewiesen werden, daß bei der Salbachschen Versuchsanordnung eine ganze Reihe schwer zu übersehender störender Einflüsse bestand, wie: mangelhafte Definition der Intensität, Rückdiffusion der Strahlung, nicht genügend konstante Einfallsbedingungen. Die Untersuchung des Einflusses des Einfallswinkels auf die erzeugte Schwärzung zeigte bei α- und β-Strahlen nicht nur eine starke Abhängigkeit von der Eindringungstiefe in die photographische Schicht, sondern auch das Auftreten eines eigentümlichen, bisher unbekannten Effektes, der darin besteht, daß eine mit parallelen α-Strahlen geschwärzte Platte in der Einfallsrichtung der α-Strahlen eine abnorm hohe Lichtdurchlässigkeit aufweist; dies ist darauf zurückzuführen, daß die Silberkörner in Reihen längs der α-Strahlenbahnen angeordnet sind. Bei β-Strahlen ist der Effekt ebenfalls schwach angedeutet.

83. Zerstreuung der β-Strahlen[1].

Die Versuche wurden fortgesetzt. Es ergaben sich Anhaltspunkte dafür, daß bei großen Ablenkungen die Einzelstreuung der β-Strahlen nicht nach den Gesetzen des elastischen Stoßes zu berechnen ist, sondern daß auch unelastische Stöße vorkommen. Genauere Ergebnisse sind zu erwarten, wenn der vom Veifa-Radium-Institut in Frankfurt a. M. in entgegenkommendster Weise zur Verfügung gestellte Transformator für diesen Zweck in Benutzung genommen wird.

84. Durchdringende (kosmische?) Strahlung[2].

Durch Ballonfahrten wurde 1914 festgestellt, daß eine sehr wenig absorbierbare Strahlung in die Erdatmosphäre eintritt und selbst bis auf die Erdoberfläche herabdringt. Ob diese Strahlung gerichtet ist oder nicht, ist nicht bekannt. Es wurden Versuche eingeleitet, Richtung, Ursprung und Charakter dieser Strahlung aufzuklären. Die Schwierigkeit der Aufgabe liegt darin, daß die Ionisationswirkung der kosmischen Strahlung auf dem Erdboden klein ist im Vergleich mit der von den Wandungen des Meßinstruments und den radioaktiven Substanzen der Erde herrührenden Strahlung.

Durch vorbereitende Versuche wurde bestätigt, daß Eisen und Zink eine besonders geringe Eigenstrahlung zeigen und sich daher zum Bau empfindlicher Instrumente eignen. So konnte mit einer ganz aus Zink gefertigten Ionisationskammer bereits die Abnahme der kosmischen Strahlung in verschiedenen Wassertiefen festgestellt werden.

---

[1] Bothe.
[2] Kolhörster.

Chemisches Laboratorium.

Das chemische Verhalten des Glases war in verschiedenen Richtungen der Gegenstand ausgedehnter Versuche.

85. Eosinreaktion an Bruchflächen[1]. Die amtliche Prüfung auf natürliche und Verwitterungsalkalität betraf 112 verschiedene optische Glastypen für das Glaswerk Schott u. Gen. in Jena. Großenteils waren die Versuche zur Kontrolle früherer Angaben bestimmt. Für die Beurteilung der störenden Verwitterbarkeit der geschliffenen Gläser in der optischen Praxis wird in Jena die Eosinreaktion an Bruchflächen als maßgebend betrachtet; es gibt nur ganz wenige Ausnahmen, welche alkalifreie und doch stark verwitternde Glastypen betreffen.

86. Fleckenempfindlichkeit der Gläser[2]. Der optischen Praxis ist es ferner darum zu tun, die Bestimmung der sogenannten „Fleckenempfindlichkeit" des Glases auf zahlenmäßige Grundlagen zu stellen. Bei der dazu benutzten „Essigprobe" von Zschimmer wird als Maßstab zur Beurteilung der kleine Rückstand benutzt, welcher bei der Verdunstung eines Tropfens des Reagens auf der Schlifffläche hinterbleibt, nachdem man die löslichen Teile durch Abspülen mit Wasser entfernt hat.

Die Firma Goerz hat der Reichsanstalt 17 verschiedene optische Glasarten für vergleichende Zwecke zur Verfügung gestellt; dazu kommt das mannigfache aus Jena bezogene Glasmaterial.

Glassorten		Fleckenprobe an Schliffflächen: 24 stündige Wirkung von 0,5 %iger Essigsäure (Zschimmer)	Fleckenprobe an Schliffflächen: 1 stündige Wirkung von 10 %iger Salzsäure	Säureprobe an gekörntem Glas. Zahl der durch das Glas neutralisierten ccm $^{n}/_{10}$-Salzsäure
Kronglas	516/640	—	—	0,035
	508/610	—	—	0,04
	515/546	—	—	0,22
	N	—	—	0,055
Barium-Kronglas	573/575	sehr schwacher grauer Fleck	schwacher grauer Fleck	1,12
	590/612	sehr schwacher grauer Fleck	krystall. Korrosion auf buntem Fleck	2,4
	609/589	bunter Fleck	krystall. Korrosion und rissiger Fleck	4,4
	614/564	grauer Fleck	schwach kryst. Korrosion auf buntem Fleck	4,9
	622/632	blau-grauer Fleck	krystall. Korrosion auf buntem Fleck	5,3
Barium-Flintglas	569/512	—	—	0,17
	570/560	• —	—	0,34
	604/494	schwacher grauer Fleck	(sehr schwacher Fleck)	4,2
	624/391	—	—	0,25
Flintglas	523/513	—	schwacher grauer Fleck	0,2
	548/459	—	—	0,07
	617/365	—	—	0,15
	717/295	sehr schwacher Fleck	sehr schwacher Fleck	0,45

Als Ergebnis vielseitiger Beobachtungen läßt sich das Folgende hervorheben:

a) Die charakteristischen auf geschliffenen Glasobjekten durch mancherlei chemische Einflüsse auftretenden Flecke stellen eine Korrosionserscheinung dar, welche sich meist durch Farben dünner Blättchen kundgibt und durch Wasser nicht beseitigt wird. Eine Sammlung solcher in der Praxis fleckig gewordener Objekte war nicht zu beschaffen.

b) Korrosionserscheinungen solcher Art lassen sich oft besonders leicht durch Einwirkung von Säuren hervorrufen, doch zeigen die Korrosionsstellen nicht immer die Farben dünner Blättchen.

[1]) Mylius, Hüttner, Tepohl.

[2]) Tepohl, Mylius.

c) Barium- und bleihaltige Gläser sind als fleckenempfindlich bekannt; zahlenmäßige Vergleiche mit den Korrosionserscheinungen an anderen Glastypen sind schwer durchführbar.

d) Häufig, aber nicht immer, läßt sich ein Parallelismus der Fleckenbildung mit einem Säureangriff feststellen; eine bequeme Bestimmung der Säureempfindlichkeit kann daher (in beschränktem Umfange) einen Anhalt auch für die Fleckenbildung unter anderen Einflüssen bieten.

e) An zerkleinerten Gläsern „gleichen Kornes" läßt sich die „Säureempfindlichkeit" bestimmen, indem man gleiche Volumina solcher groben Pulver 2 Stunden lang mit 0,1 norm. Salzsäure in Berührung bringt und den nicht neutralisierten Teil mit Natronlauge zurücktitriert. Die vorstehende Tabelle gibt über das Verhalten der 17 Gläser von Goerz im geschliffenen sowie im gekörnten Zustande nähere Auskunft.

87. Hydrolyse von Thüringer Glas[1].

Eine weitere Reihe von Untersuchungen bezog sich auf das hydrolytische Verhalten von Hohlglas. Das zu chemischen Zwecken unentbehrliche Thüringer Glas zeigt nach vieljährigem qualitativen Aufstieg jetzt wieder starke Unterschiede bei der Verarbeitung vor der Lampe sowie im hydrolytischen Verhalten. Besonders störend erweist sich die Tatsache bei den Reagensröhren.

Eine Anzahl Thüringer Glasröhren aus verschiedenen Bezugsquellen wurde mit Wasser gefüllt und nach dem Zuschmelzen 5 Stunden lang auf 100° erhitzt. Das dabei in Lösung gegangene Alkali (ausgedrückt in mg Na_2O auf 1 qdm Glasfläche) ist der folgenden Übersicht zu entnehmen.

Glas	Verhalten in der Flamme	5 Stunden Wasser v. 100°; mg Na_2O auf 1 qdm	Brauchbarkeit
A	blank	0,55	gut
B	„	0,93	„
C	blasig	2,45	mittelmäßig
D	matt	2,92	„
E	„	2,97	„
F	abblätternd	3,66	unbrauchbar
G	„	3,69	„
H	„	4,7	„

Als zulässige hydrolytische Grenze im Sinne der Brauchbarkeit von Glasröhren für analytische Zwecke kann bei bequemer Probe ein bestimmter alkalimetrischer Wert vereinbart werden.

Die hydrolytische Probe im geschlossenen Rohr ist der „Autoclavenmethode" für diesen Zweck wesentlich vorzuziehen.

88. Reine Metalle[2].

Der kleine Bestand an „normierten Metallen", über welche das chemische Laboratorium noch verfügt, wird gegenwärtig durch wichtige physikalische Untersuchungen stark in Anspruch genommen und muß gemäß dem Verbrauch notwendig ersetzt werden.

Die Firma W. C. Heraeus in Hanau bekundete ihr warmes Interesse an diesen Bestrebungen nicht nur durch werktätige Mitarbeit, sondern auch durch die dankenswerte Spendung eines 12 kg schweren abgedrehten Stabes aus reinstem elektrolytischen Eisen, welcher, als dichtes Gußstück im Rohnschen Vakuumofen hergestellt, nun das kostbarste Objekt in der geplanten Metallsammlung darstellt. Andere reine Metalle der Eisengruppe sind darin nocht nicht vertreten.

89. Aluminium[2].

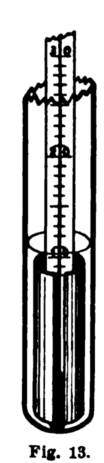
Für das technische Aluminium ist die Abgrenzung bestimmter Reaktionsklassen mit Hilfe der thermischen Salzsäureprobe in einer amtlichen ausführlichen Mitteilung durchgeführt worden. (Anh. 1, Nr. 75.)

---

[1]) Mylius, Hüttner.

[2]) Mylius.

Ein Bedürfnis zur Ergänzung dieser Versuche lag für das Aluminiumdünnblech vor, welches die mit der Probe verknüpfte Tiefätzung nicht vertragen kann. Unter Beibehaltung der thermischen Beobachtung führte eine Änderung der Versuchsbedingungen zu einer dezimalen Salzsäureprobe für Aluminiumdünnblech, bei welcher auf die gleiche Metalloberfläche von 2000 mm² eine zehnfach geringere Menge Chlorwasserstoff (nämlich 0,2 g statt 2,0 g HCl) einwirkt. Dies ergänzende Flachbeizverfahren wird gemäß Fig. 13 an quadratischen (zusammengebogenen) Blechabschnitten in gewöhnlichen Reagensröhren von 15 mm lichter Weite zur Durchführung gebracht, wobei als flüssiges Reagens 5 cm³ 4 proz. Salzsäure von 20° dienen. Der Zweck dieser ergänzenden Probe ist nicht die Kenntnis des Metallkerns, sondern die Kontrolle der Oberflächenschichten. Zur Reinigung der röhrenförmig gebogenen Blechstücke begnügt man sich mit einer kurzen Behandlung mit siedendem Alkohol. In der folgenden thermischen Übersicht ist das Reaktionsgefälle von fünf Blechindividuen verschiedener Dicke verzeichnet, bei vielfacher Wiederholung der Dezimalprobe mit je 5 cm³ frischer Salzsäure an den abgespülten Blechstücken. Die von C. A. F. Kahlbaum bezogenen Bleche zeigen sehr gleichmäßige Beschaffenheit und gehören ihren Metallkernen nach zur zweiten Reaktionsklasse bei einem Gehalt an 98—99 % Al.


Fig. 13.

Thermische Salzsäuredezimalprobe für Dünnblech.

Reaktion	Blechdicke 0,5 mm		Blechdicke 0,3 mm		Blechdicke 0,2 mm		Blechdicke 0,1 mm		Blechdicke 0,05 mm	
	t_{max} in Min.	Reakt.-Zahl	t_{max} in Min.	Reakt.-Zahl	t_{max} in Min.	Reakt.-Zahl	t_{max} in Min.	Reakt.-Zahl	t_{max} in Min.	Reakt.-Zahl
I	37,8° in 35 Min.	0,51	43° in 54 Min.	0,43	49,5° in 35 Min.	0,84	45° in 38 Min.	0,65	43,5° in 40 Min.	0,59
II	35,5° „ 20 „	0,77	40,0° „ 10 „	2,65	50,2° „ 5 „	6,04	37° „ 20 „	0,93	34,8° „ 26 „	0,57
III	36,6° „ 20 „	0,83	45,8° „ 11 „	2,35	49,3° „ 7,5 „	3,9	33,8° „ 30 „	0,43	30,8° „ 32 „	0,34
IV	37° „ 19 „	0,84	45° „ 11 „	2,27	49° „ 7 „	4,1	33° „ 30 „	0,50		
V	37° „ 19 „	0,84	44,7° „ 12 „	2,06	48,5° „ 7 „	4,1				
VI	36,2° „ 18 „	0,90	45,6° „ 11 „	2,33	48° „ 7 „	4,0				
VII	36,5° „ 20 „	0,73	45,5° „ 11 „	2,32	47,5° „ 7 „	3,93				
VIII			46° „ 10 „	2,62	48° „ 7 „	4,0				

Die Reaktionszahlen bedeuten den mittleren Gradzuwachs pro Minute $\left(\frac{t_{max} - 20^{0}}{\text{min}}\right)$.

Die Übersicht ergibt sehr greifbare Unterschiede bei den einzelnen Blechsorten. Nach dem ersten (wegen der Deckschicht) verzögerten Angriff ist die Konstanz bei den Wiederholungen zu beachten. — Auch nach achtfacher Wiederholung sind an den Bleckstücken noch helle Glanzstreifen vorhanden als Überreste der schwerlöslichen „Deckschicht". Die Erklärung für die besonders großen Reaktionszahlen des 0,2 mm-Bleches liegt in der großen Biegsamkeit desselben, welche auf vorangegangene hohe „Anlaßtemperaturen" und dadurch veranlaßte Strukturveränderungen hindeutet. Hier war von „Glanzstreifen" nichts zu bemerken; die Flachätzung ergab sogleich körnige Struktur.

Weitere Versuchsreihen bezwecken die Verfolgung der Passivität der Bleche bei der Einwirkung von Wasser unter verschiedenen Bedingungen.

90. Bergkrystall[1]. Einige Sorten von bei wichtigen optischen Arbeiten benutztem Quarz wurden analysiert, um das bei den betreffenden Messungen benutzte Material auch chemisch zu charakterisieren (S. 10).

91. Wolfram[2]. Die schon vor längerer Zeit begonnenen kritischen Untersuchungen über die Analyse des technischen Wolframmetalls wurden einstweilen zum Abschluß gebracht. Die in Betracht kommenden Verunreinigungen sind besonders Molybdän und Eisen. Die analytischen Methoden von Arnold (*Zeitschr. f. anorg. Chem. 88. S. 74. 1914*) haben sich als zuverlässig erwiesen. Die Aufschließung des Metalls wird durch Schmelzen mit Kaliumnitrit in eisenfreien Tigeln (Porzellan und Platin) vorgenommen. In der mit Weinsäure übersättigten Lösung wird Molybdän (wie

[1]) Tepohl.
[2]) Hüttner.

Kupfer usw.) durch Schwefelwasserstoff gefällt, während das Wolfram in Lösung bleibt und durch Salzsäure in WoO_3 übergeführt werden kann. Das Filtrat enthält das Eisen. Seine Bestimmung geschieht am einfachsten auf kolorimetrischem Wege[1]) durch Überführung in das Chlorid.

Von dem technischen Metall aus dem Handel wurde das in zwei Sorten in Plättchen gepreßte Wolfram von der Deutschen Glühfadenfabrik (Kurz & Schwarzkopf) besonders sorgfältig untersucht und sehr rein gefunden. Die Analyse ergab bei Anwendung von je 2 g des Metalls:

	Molybdän		Eisen		Wolfram
Sorte I . . .	0,07 %	0,11 %	0,02 %	0,025 %	über 99,5 %
„ II . . .	0,047 %	0,038 %	0,018 %	0,02 %	

Die Anwendung größerer Mengen des Probemetalls läßt noch eine größere Genauigkeit der Analyse erwarten, wenn auch das Arbeiten mit größeren Mengen Wolfram und Wolframsäure gewisse Schwierigkeiten bedingt.

Vielseitige Versuche, zur Bestimmung des Molybdäns kolorimetrische Verfahren in Anwendung zu bringen, führten bisher nicht zum Erfolg. Die karminrote und in Äther lösliche Färbung, die bei Gegenwart von Reduktionsmitteln durch Rhodanide Spuren von Molybdän anzeigt, ist in ihrem Übergang zu Gelb so unbeständig, daß sie in Übereinstimmung mit Ergebnissen anderer Forscher zu quantitativen kolorimetrischen Bestimmungen nicht verwendbar ist; im besonderen nicht bei Gegenwart von Eisen, wenn sich auch in der diesbezüglichen Literatur die Angabe findet, daß seine Anwesenheit ohne Einfluß ist.

92. Photochemische Arbeiten[2]).

Die im Physikalisch-chemischen Institut der Universität Berlin begonnenen photographischen Arbeiten wurden mit Unterstützung der „Agfa" fortgesetzt.

Zur Prüfung des photochemischen Äquivalentgesetzes an Halogensilberemulsionen[3]) wurde die Lichtabsorption photographischer Platten für verschiedene Spektralgebiete genauer gemessen und die Methoden für die Silberbestimmung des latenten Bildes verbessert. Es zeigte sich, daß pro absorbiertes $h\nu$ ein Silberatom frei wird. Weitere Versuche über das Äquivalentgesetz an geschmolzenem Bromsilber sind im Gange.

Ferner wurde die Ionenladung der Bromsilberteilchen photographischer Schichten bestimmt und dabei festgestellt, daß die Form der Schwärzungskurve durch die Größe und Art dieser Ladung bedingt wird.

Es wurde eine Untersuchung über die maximale Empfindlichkeit der Retina des menschlichen Auges begonnen. Die Sehschwelle des Dunkel- und des Hellapparates wurde für verschiedene Spektralgebiete in absolutem Maße bestimmt mit der Absicht, auch in diesem Falle auf quantenhafte Absorption zu prüfen.

Präzisionsmechanisches Laboratorium[4]).

93. Prüfungsarbeiten.

Im Berichtsjahr wurden geprüft:

8 (16) Maßstäbe,	12 (9) Sphärometerringe,
5 (10) Mikrometer,	41 (81) Stimmgabeln verschiedener Tonhöhe,
367 (744) Endmaße,	28 (6) Kegellehren,
71 (81) Leitspindeln,	18 (0) Lehren,
28 (77) Normalgewinde,	1 Tertienuhr.

Daneben wurden noch zahlreiche Einzelprüfungen sowie Anfragen technischen Inhalts erledigt neben zahlreichen Längenmessungen für den Bedarf der Reichsanstalt selbst. Im ganzen kamen 108 Prüfungsanträge zur Bearbeitnng gegen 155 im Vorjahre.

Aus der Zahlenübersicht geht ein erheblicher Rückgang der laufenden Prüfungen hervor, außer bei Sphärometerringen, Morsekonen und Lehren. Ob dieser Rückgang durch verminderten

[1]) Nach Hüttners Methode. *Zeitschr. f. anorg. Chem. 86. S. 341. 1914.*

[2]) Noddack.

[3]) *Sitzungsber. der Akad. d. Wissensch. Berlin 1921, S. 63.*

[4]) Göpel, Blaschke, Werner.

Beschäftigungsgrad der beteiligten Industrien oder durch die im Berichtsjahr besonders stark hervorgetretene Unsicherheit der Technik in bezug auf die Zuständigkeit der maßgebenden Prüfbehörden veranlaßt ist, läßt sich nicht entscheiden. Das Laboratorium war trotz Verminderung der Prüfungen voll beschäftigt, weil die Arbeitskraft eines der wissenschaftlichen Beamten infolge Erkrankung mehrere Monate hindurch ausfiel und von der im Vorjahre üblichen aushilfsweisen Heranziehung eines Studierenden abgesehen werden mußte.

94. Prüfung gebrauchter Endmaßsätze. Unter den zur Prüfung eingereichten Endmaßsätzen befanden sich zum ersten Male mehrere solche, die längere Zeit im Werkstattgebrauch gewesen waren. Sie zeigten fast durchweg so starke Abnützung der Endflächen, daß Verkürzungen von mehreren Tausendstel Millimetern festzustellen waren. Bei den meisten Stücken war eine interferometrische Untersuchung der Abnutzung wegen überhaupt nicht mehr möglich. Der Befund zeigte, daß die jetzt übliche große Meßgenauigkeit bei Gebrauchssätzen, also bei solchen Endmaßen, die nicht als Urnormale eines Betriebs dienen, nur dann Sinn hat, wenn in kurzen zeitlichen Zwischenräumen Nachprüfungen vorgenommen wurden.

95. Abkürzung des Prüfverfahrens für Leitspindeln. Da ein großer Teil der zu prüfenden Leitspindeln diesmal fast gleichzeitig eingereicht wurde, mußte eine zeitsparende Abänderung des üblichen Prüfungsverfahrens ausgearbeitet werden, die sich bisher bewährt hat. Die Teilungsfehler der Leitspindeln wurden bislang so bestimmt, daß ein auf die Spindel passendes und mit einem Teilstrich versehenes Muttersegment schrittweise versetzt und die jeweilige Strichverlegung auf einem parallel zur Leitspindel gelagerten Maßstab gemessen wurde. Es waren also in jeder Mutterlage zwei Striche mit je einem Mikroskop einzustellen. Dies Verfahren wurde dahin abgeändert, daß nunmehr ein Mikrometer-Mikroskop, mit dem Muttersegment fest verbunden, auf den Vergleichsmaßstab gerichtet wurde, so daß in jeder Mutterstellung die Maßstabablesung allein vorzunehmen war. Die Messungsarbeit wurde damit gegen früher um die Hälfte vermindert. Durch zeitweise Benutzung eines zweiten Komparators wurde die Prüfungsfrist noch weiter herabgedrückt.

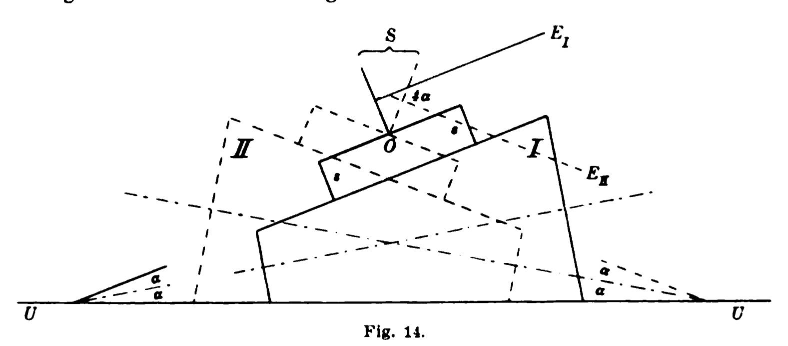


Fig. 14.

96. Prüfung von Kegellehren. Der vermehrte Eingang von Kegellehren, metrischer sowohl wie solcher nach Morse, gab Anlaß zur Verbesserung und Vereinfachung des Verfahrens zur Messung der für den Gebrauch der Lehren besonders wichtigen Verjüngung $2 \cdot \text{tg}\,\alpha$, wo α der halbe Kegelwinkel ist. Die bisherige Einrichtung benutzte die Beziehung $2\,\text{tg}\,\alpha = \frac{D-d}{l}$, d. h. es waren zwei Durchmesser im Abstand l zu messen. Die neue Anordnung gestattet, α direkt zu messen auf dem in Fig. 14 skizzierten Wege. An einem Lenker ist, um O drehbar, eine Lamelle mit zwei parallel verlaufenden harten Stahlschneiden ss in ca. 50 mm Abstand befestigt, sowie ein an der Drehung teilnehmender Spiegel S. Die Schneiden werden in den beiden Lagern I und II der sorgfältig ausgerichteten und auf fester Unterlage U gehaltenen Kegellehre auf deren Mantel aufgelegt und der von den beiden Einfallsloten E_I und E_{II} gebildete Winkel 4α mittels der Gauß-Poggendorffschen Spiegelablesung gemessen. Da 8α ermittelt wird, geht in die gesuchte Verjüngung nur der vierte Teil der etwa auftretenden Messungsunsicherheit ein. Bei großen und dementsprechend schweren Kegellehren wird die Konstanz der Unterlage U zweckmäßig durch eine gute Libelle kontrolliert. Der Winkel α läßt sich mit Hilfe der geschilderten Einrichtung bei guter Ausführung der Lehren auf 1—2″ genau bestimmen. Eine Beobachtungsgenauigkeit von $\pm 0{,}05''$, wie sie die Dinorm 231

für den Morsekegel 5 durch Angabe der Verjüngung mit 0,0526265 — also auf eine halbe Einheit der 6. Dezimale — anzustreben scheint, ist natürlich weder erreichbar, noch für den vorliegenden Zweck notwendig.

97. Messung von Flankendurchmessern. Die im vorigen Bericht (*diese Zeitschr. 42. S. 141. 1922*) erwähnten systematischen Unterschiede zwischen den mit dem neuen Flankenmeßgerät erhaltenen Resultaten und den auf anderem Wege ermittelten haben sich inzwischen zugunsten des neuen Apparates aufgeklärt. Trotzdem sind noch Verbesserungen im Aufbau des letzteren vorgenommen worden und nahezu vollendet, namentlich in der Absicht, die gleiche Einrichtung auch zur Messung von Flankenwinkeln brauchbar zu machen. Die Fertigstellung hat sich durch sehr starke Inanspruchnahme der Hauptwerkstatt mit anderen Arbeiten außergewöhnlich verzögert.

98. Bestimmung von Schwingungszahlen. Im Berichtsjahre wurden nach Maßgabe der von Prüfungen freien Zeit wieder eine Reihe von Stimmgabeln durch Vergleichang mit $a = 435$ Schw. auf dem Trommelchronographen bestimmt. Die Stimmgabelreihe des Laboratoriums endet jetzt bei 2100 Schwingungen. Um die Prüfungsmöglichkeit für noch höhere und höchste Töne zu schaffen, wurde eine Galton-Pfeife von Edelmann-München bezogen. Gleichzeitig wurde ein neues stabiles Modell einer solchen Pfeife in der Hauptwerkstatt in Arbeit genommen.

99. Vergleichende Untersuchung von Zugfedern für Uhren. Auf Antrag einer großen Schwarzwälder Uhrenfabrik und einer deutschen Uhrfederfabrik wurden vergleichende Untersuchungen von Pendeluhrzugfedern deutscher und ausländischer Herkunft begonnen. Die Messungen erstrecken sich auf Größe und Konstanz des Drehmomentes in den einzelnen Umgängen des Federablaufes sowie auf etwa auftretende Ermüdungserscheiungen bei Dauerbeanspruchung.

100. Änderung im Zeitdienst. Durch Schaffung der Empfangseinrichtungen für die Aufnahme der drahtlosen Zeitsignale aus Nauen und Paris seitens des Starkstromlaboratoriums ist die bisherige telegraphische Zeitübertragung von der Sternwarte in Babelsberg am Ende des Jahres in Wegfall gekommen. Mehrere Wochen hindurch konnten beide Signale für den Zeitdienst verwendet werden. Die Übereinstimmung betrug im Mittel etwa $\pm 0{,}2''$. In diesen Abweichungen liegt noch der persönliche Fehler bei der Aufnahme des Nauener Signales, das nach Gehör mittels Handtasters auf den Streifenchronographen übertragen wird, während Babelsberg ganz automatisch registriert wurde. Bei der Wichtigkeit des Zeitdienstes für die akustischen Untersuchungen und die sonstigen Zeitmessungen des Laboratoriums wird darauf Bedacht genommen werden, auch für die drahtlosen Zeitsignale eine automatische Registrierung zu schaffen.

101. Untersuchung volumenbeständiger Stähle. Die Untersuchung über volumenbeständige Stähle wurde im Berichtsjahre so weit gefördert, daß die Probekörper in der Hütte gehärtet werden konnten. Die Wiederholung der vor der Härtung vorgenommenen Dichte- und Ausdehnungsbestimmungen mußte aus den eingangs erwähnten persönlichen Gründen unterbrochen werden.

Werkstatt[1]).

102. Allgemeines. Durch die Übertragung der Beschaffung aller Hilfsmaterialien und Werkzeuge für sämtliche Laboratorien und Werkstätten der Reichsanstalt sind dauernd zwei Techniker in Anspruch genommen, darunter auch der Zeichner der Hauptwerkstatt, der damit seiner Hauptaufgabe zum Nachteil der Werkstatt ganz entzogen ist.

103. Stempelungen. Die Stempelungen hatten den gewöhnlichen Umfang. Um an Arbeitszeit und vor allem an teurem Stempelersatz zu sparen, wurden in verschiedenen Fällen die Stempelungen durch Gravierung mit der im präzisionsmechanischen Laboratorium vorhandenen Maschine ersetzt.

104. Herstellung von Apparaten usw. Der Normalkondensator konnte nach Einbau der nach langer Verzögerung gelieferten Einstellskala und Vornahme geringer Änderungen abgeliefert werden. Die starke Inanspruchnahme der Werkstatt zu vorübergehenden Hilfsarbeiten ließ zur Vornahme größerer Aufgaben wenig Zeit. Mit der Aufstellung der im Vorjahre beschafften automatischen Rundschleifmaschine waren mehrere Wochen hindurch zwei Techniker beschäftigt, da die Montage der Maschine durch die Lieferfirma zu hohe Kosten verursacht hätte.

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.
gez. W. Nernst.

[1]) Göpel.

Anhang 1.

Veröffentlichungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Allgemeines.

1. Bericht über die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1921. *Zeitschr. f. Instrkde* **42.** *S. 65—82. 97—114. 129—147. 1922.*
2. Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Bd. V. Heft 2. 4°. 238 S. Bd. VI. Heft 1. 4°. 136 S. Berlin, Julius Springer 1922.
3. Bekanntmachung über Prüfungen und Beglaubigungen durch die Elektrischen Prüfämter Nr. 144—156. *Zentralbl. f. d. Deutsche Reich* **50.** *S. 110. 111. 124. 137. 186. 188. 271. 282. 379. 403. 414. 429. 1020. 1922. Elektrotechn. Zeitschr.* **43.** *S. 320. 466. 541. 647. 791. 917. 944. 1011. 1066. 1091. 1116. 1922.* **44.** *S. 12. 1923.*

Abteilung I.

Amtliche Veröffentlichungen.

4. Gehrcke und Lau, Über die Balmerserie des Wasserstoffs. *Ann. d. Physik* **67.** *S. 388—394. 1922.*
5. Gehrcke, Die Gitteraufstellung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. *Zeitschr. f. Instrkde* **42.** *S. 277—280. 1922.*
6. Gehrcke, Bemerkung über Gruppenspektra. *Physikal. Zeitschr.* **23.** *S. 432—433. 1922.*
7. Gehrcke und Lau, Über das Vielllinienspektrum des Wasserstoffs. *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1922. S. 453—458.*
8. C. Müller, Glühzünder von hoher Bruchsicherheit. *Zeitschr. f. techn. Physik* **3.** *S. 235. 1922.*

Private Veröffentlichungen.

9. Gehrcke, Ein Entladungsrohr zur Demonstration des Stark-Effekts. *Zeitschr. f. techn. Physik* **3.** *1922.*
10. Lau, Versuche über das stereoskopische Sehen. *Psycholog. Forschung* **2.** *S. 1—4. 1922.*
11. Gehrcke, Warburg als Physiker. *Zeitschr. f. techn. Physik* **3.** *S. 186—192. 1922.*
12. C. Müller, Über die Lichteinheit. *Zeitschr. f. Beleuchtungsw. S. 76—81. 89—94. 1922.*
13. Brodhun,
14. Schönrock, } Mitarbeit an der 14. Aufl. von Kohlrausch, Praktische Physik.

Abteilung II.

Amtliche Veröffentlichungen.

15. Behnken, Untersuchungen an Hochspannungstransformatoren mit dem Braunschen Rohr. *Arch. f. El.* **11.** *S. 131—139. 1922.*
16. Behnken, Die Verwendung von Verstärkungsfolien zur photographischen Dosisbestimmung. *Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr.* **29.** *S. 330—336. 1922.*
17. Behnken, Ein neuer Röntgenstrahlen-Härtemesser. *Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr.* Im Druck.
18. Dieterle, Die Schutzerdung bei der dielektrischen Verlustmessung an Hochspannungskabeln. *Arch. f. El.* **11.** *S. 182—188. 1922.*

19. Engelhardt, Verwendung des magnetischen Spannungsmessers in der Kompensationsschaltung. *Arch. f. El.* **11.** *S. 198—202. 1922.*

20. Giebe und Zickner, Verlustmessungen an Kondensatoren. *Arch. f. El.* **11.** *S. 109—129. 1922.*

21. A. Günther-Schulze und E. Alberti, Verhalten von Elektrolytgleichrichtern bei Hochfrequenz. *Physikal. Zeitschr.* **23.** *S. 188. 1922.*

22. A. Günther-Schulze, Die elektrolytische Ventilwirkung III. Der Zusammenhang zwischen Maximalspannung und Ionenkonzentrationen des Elektrolyten bei Aluminium. *Zeitschr. f. Physik* **9.** *S. 197. 1922.*

23. A. Günther-Schulze, Die kristallinische Abscheidung von Metallen durch Elektrolyse mit hohen Stromdichten. I. Blei. *Zeitschr. f. Physik* **28.** *S. 119. 1922.*

24. A. Günther-Schulze, Die elektrolytische Ventilwirkung. IV. Die zersetzende Wirkung der Funken der Maximalspannung. *Zeitschr. f. Physik* **9.** *S. 225. 1922.*

25. A. Günther-Schulze, Die Dissoziation der Chloride zweiwertiger Metalle in wässeriger Lösung. *Zeitschr. f. Elektrochem.* **28.** *S. 387. 1922.*

26. A. Günther-Schulze, Die Größe des Kathodenfleckes des Kohlelichtbogens in Luft. *Zeitschr. f. Physik* **11.** *S. 71. 1922.*

27. A. Günther-Schulze, Die Vorgänge an der Kathode des Quecksilbervakuumlichtbogens. *Zeitschr. f. Physik* **11.** *S. 74. 1922.*

28. A. Günther-Schulze, Dissoziation, Temperatur und Dampfdruck im Quecksilberlichtbogen. *Zeitschr. f. Physik* **11.** *S. 260. 1922.*

29. A. Günther-Schulze, Die Zündspannung der Quecksilbergleichrichter. *Arch. f. El.* (im Druck).

30. Jaeger und H. v. Steinwehr, Widerstandsänderung des Quecksilbers bei kleinen Drucken. *Zeitschr. f. Physik* **9.** *S. 201—202. 1922.*

31. Schering, Die Erwärmung eines Kabels durch dielektrische Verluste. *Arch. f. El.* **11.** *S. 68—76. 1922.*

32. Schering, Taster für die elektrische Widerstandsmessung in der Thomsonbrücke. *Elektrot. Zeitschr.* **44.** *S. 11—12. 1923.*

33. H. v. Steinwehr und A. Schulze, Nachprüfung der EMK des internationalen Westonelements mit Hilfe des Silbervoltameters. *Zeitschr. f. Instrkde* **42.** *S. 221—231. 1922.*

34. V. Vieweg, Optische Meßgeräte zur Bestimmung der Dicke der Ölschicht in Lagern unter Berücksichtigung der Anwendung auf Schmiermittel. *Petroleum* **18.** *S. 1405. 1922. Wissensch. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanst.* **6.** *S. 233—240. 1923.*

Private Veröffentlichungen.

35. Giebe
36. Grüneisen } Mitarbeit an der 14. Aufl. von Kohlrausch, Lehrbuch der prakt. Physik.

37. Gumlich, Mitarbeit am Jahrbuch für Elektrotechnik.

38. A. Günther-Schulze, Der Zusammenhang zwischen maximaler elektrolytischer Metallabscheidungsgeschwindigkeit und der Hydratation der Metallionen. *Zeitschr. f. Elektrochem.* **28.** *S. 122. 1922.*

39. A. Günther-Schulze, Eine Knallgas entwickelnde Elektrode. *Zeitschr. f. Elektrochem.* **28.** *S. 126. 1922.*

40. A. Günther-Schulze, Protonenstrahlen. *Zeitschr. f. Physik* **9.** *S. 246. 1922.*

41. A. Günther-Schulze, Die dielektrische Festigkeit von Flüssigkeiten und festen Körpern. *Jahrb. d. Radioakt. u. El.* **10.** *S. 92. 1922.*

42. A. Günther-Schulze, Die dielektrische Festigkeit von Gasen, Flüssigkeiten und festen Körpern. *Helios* **28.** *S. 397. 1922.*

43. W. Jaeger, Schwingungsvorgänge in verallgemeinerter Form. *Zeitschr. f. Physik* **9.** *S. 251—258. 1922.*

44. W. Meißner, Entfernungs- und Höhenmessung in der Luftfahrt, Sammlung Vieweg, Heft 61, Braunschweig 1922.

45. W. Meißner, Das Verhalten fester Körper in sehr tiefen Temperaturen. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***65.*** *S. 845—847. 876—878. 1922.*

46. R. Schmidt und Gg. Keinath. Erläuterungen zu den Regeln für Meßgeräte. *Elektrotechn. Zeitschr.* ***43.*** *S. 518. 1922.*

47. A. Schulze, Quecksilber, im Handbuch der Werkstoffe. Leipzig 1921.

48. A. Schulze, Binäre Flüssigkeitsgemische. *Zeitschr. f. physikal. Chem.* ***101.*** *S. 109. 1922.*

49. A. Schulze, Die elektrische Leitfähigkeit der Metalle. *Helios* ***28.*** *S. 481. 493. 505. 1922.*

50. A. Schulze, Die Theorie der elektrischen Leitfähigkeit. *Helios* ***28.*** *S. 553. 1922.*

Abteilung III.

Amtliche Veröffentlichungen.

51. Henning und Heuse, Über den Koeffizienten der diffusen Reflexion von Magnesiumoxyd. *Zeitschr. f. Physik* ***10.*** *S. 111—128. 1922.*

52. Holborn und Otto, Über die Isothermen von Stickstoff, Sauerstoff und Helium. *Zeitschr. f. Physik* ***10.*** *S. 367. 1922.*

53. Jakob, Bestimmung von strömenden Gas- und Flüssigkeitsmengen aus dem Druckabfall in Rohren. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***66.*** *S. 178—182. 1922* und *Wissensch. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanst.* ***5.*** *Heft 2. S. 433. 1922.*

54. Jakob, Messung des Wärmeleitvermögens von Flüssigkeiten, Isolierstoffen und Metallen. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***66.*** *S. 688—693. 1922* und *Wissensch. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanst.* ***6.*** *S. 137—150. 1922.*

Private Veröffentlichungen.

55. Henning, Heinrich Rubens. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***66.*** *S. 830. 1922.*

56. Henning, Wärmestrahlung. *Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften 12 S. 1923.*

57. Holborn, Mitarbeit an der 14. Auflage von Kohlrausch, Praktische Physik.

58. Jakob, Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1921. *Die Naturwissenschaften* ***10.*** *S. 669—676. 1922.*

59. Jakob, Eine Aufklärungsschrift über den Wärmeschutz. *Arch. f. Wärmewirtschaft* ***3.*** *S. 23—26. 1922.*

60. Jakob, Die Ergebnisse zwanzigjähriger Forschungstätigkeit des Laboratoriums für technische Physik der Technischen Hochschule München. *Gesundheitsingenieur* ***45.*** *S. 133—137. 1922.*

61. Jakob, Amerikanische Wärmedurchgangsmessungen nach der Zweiplattenmethode. *Zeitschr. f. d. ges. Kälteindustrie* ***20.*** *S. 83—87. 1922.*

62. Jakob, Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1921. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***66.*** *S. 729—730. 1922.*

63. Jakob, Bestimmung von strömenden Gas- und Flüssigkeitsmengen aus dem Druckabfall in Rohren (Zuschrift). *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***66.*** *S. 864. 1922.*

64. Jakob, Der Dampfmesser von Kent-Hodgson. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***66.*** *S. 943. 1922.*

65. Jakob, Temperaturschwankungen und Wärmeaufnahme der Kolben von Verbrennungsmaschinen. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* ***66.*** *S. 1138—1140. 1922.*

66. Jakob, *Étude du film liquide dans les évaporateurs et les condenseurs.* (Übersetzt von Dieterlen.) *Chaleur et Industrie* ***3.*** *S. 1061—1063. 1922.*

67. Scheel, Mitarbeit an der 14. Aufl. von Kohlrausch, Praktische Physik.

68. Scheel, Unzuverlässige Fieberthermometer. *D. med. Wochenschr. 1922. Nr. 3. S. 1.*

69. Scheel, Alphabetisches Namenregister zu den Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Zweite Reihe. Jahrgang 1 bis 21 (1899—1919). IV und 57 S. Braunschweig, Vieweg 1922.

Laboratorium für Radioaktivität.

Amtliche Veröffentlichungen.

70. W. Bothe, Neuere Erfahrungen im Prüfbetrieb radioaktiver Präparate (Vortrag von der Hauptversammlung der Deutschen Bunsengesellschaft). *Zeitschr. f. Elektrochem.* **28.** *S. 459. 1922.*
71. W. Bothe, Untersuchungen an β-Strahlenbahnen. *Zeitschr. f. Physik* **12.** *S. 117. 1922.*
72. W. Bothe, Das Schwärzungsgesetz für α- und β-Strahlen. *Zeitschr. f. Physik* **13.** *S. 106. 1922.*

Private Veröffentlichungen.

73. W. Bothe, Verzweigungen und Knicke an β-Strahlenbahnen (Vortrag vom Deutschen Physikertag in Leipzig). *Physikal. Zeitschr.* **23.** *S. 416. 1922.*
74. H. Geiger, Mitarbeit an der 14. Aufl. von Kohlrausch, Praktische Physik.

Chemisches Laboratorium.

Amtliche Veröffentlichung.

75. F. Mylius, Die thermische Salzsäureprobe und die Reaktionsklassen für Aluminium. *Zeitschr. f. Metallkde.* **14.** *S. 233—244. 1922.*

Präzisionsmechanisches Laboratorium.

Private Veröffentlichungen.

76. Göpel, Die Feinmechanik in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **66.** *S. 293. 1922.*
77. Göpel, Schriftleitung der Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Anhang 2.

Personalverzeichnis der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

(Stand am 1. Februar 1923.)

Präsident: Prof. Dr. Nernst, Geh. Reg.-Rat.

Leiter des Verwaltungsdienstes: kommissarisch beschäftigt Postdirektor Zimmermann.

Zentral-Büro, Kasse und Kanzlei:

Regierungsinspektoren: Barowsky, Rechnungsrat; Kiel, Rendant; Kirch; Oberregierungssekretäre: Fengler und Warnecke; Oberpostsekretäre: Fernkorn[1]) und Kyburg[1])-Postsekretär: Wolter[1]); Bürohilfsarbeiter: Berndt; Kanzleisekretäre: Pott und Schobrick; Amtsgehilfe: Schönwald, kommissarisch in der Kanzlei beschäftigt; Bürohilfsarbeiterin: Lindhorst; Fernsprechgehilfin: Becker.
Laboratoriumsgehilfe: Treder I; Amtsobergehilfe: Hilmer; Amtsgehilfe: Treder II, Amtsgehilfe auf Probe: Neumann.

Abteilung I (Optik).

Mit der Leitung beauftragt: Ober-Reg.-Rat und Mitglied Prof. Dr. Brodhun, Geh. Reg.-Rat.

Unterabteilung Ia:

Leiter: Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Gehrcke; Regierungsräte: Dr. Janicki, Dr. Müller; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter: Dr. Lau; freiwilliger Mitarbeiter: cand. phil. Leo; Technischer Sekretär: Lutzmann; Techniker: Triloff; Hilfstechniker: Stenzel.

---

[1]) Kommissarisch beschäftigt.

Unterabteilung Ib:

Leiter. Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Brodhun, Geh. Reg.-Rat.
Ober-Regierungsräte und Mitglieder: Prof. Dr. Liebenthal, Geh. Reg.-Rat, Prof. Dr. Schönrock; Regierungsrat: Dr. Wetthauer; Technischer Obersekretär: Willy Schön; Technischer Sekretär: Pawelczyk; Techniker: Dahlmann; Hilfstechniker: Barthell, Segeletz; Techniker auf Probe: Schmidt, Heyder; Laboratoriumsarbeiter: Schäffer.

Büro und Kanzlei I.

Kanzleisekretär: Meyer; Laboratoriumsarbeiter: Schäffer.

Abteilung II (Elektrizität und Magnetismus).
Direktor: Prof. Dr. Grüneisen, Geh. Reg.-Rat.

Unterabteilung IIa:

Leiter: Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Jaeger, Geh. Reg.-Rat.
Ober-Regierungsrat und Mitglied: Prof. Dr.-Ing. Günther-Schulze; Regierungsrat: Dr. Meißner; Technischer Sekretär: Schönfeld; Hilfstechniker Knackfuß.

Unterabteilung IIb:

Leiter ist der Direktor der Abteilung II.
Ober-Regierungsräte und Mitglieder: Prof. Dr. Gumlich, Geh. Reg.-Rat, Prof. Dr. von Steinwehr, Prof. Dr. Giebe, Prof. Dr. Schering; Regierungsräte: Reichardt, Dr. Schmidt, Dr. Steinhaus, Dipl.-Ing. Vieweg, Dr. Alberti, Dr. Behnken, Dr. Scheld, Dr. Engelhardt; Wissenschaftliche Hilfsarbeiter: Dr. A. Schulze, Dr. Zickner, Dr. Goens, Dr. Burmester; Technischer Obersekretär: E. Schoen; Technische Sekretäre: Noack, M. Müller, Busch, Keßner, Lienemann; Maschinenmeister: Rodeler; Techniker: Steinhagen, Vietzke, Schuster, Gutmann, Ullbrich, Elbel, Schüler, Filko, Glase, Bernhard, Röder, Licht, Kügler, Metzner, Melzow, Tismer, Tesch, Sergel, Ranacher, Zahn; Hilfstechniker: Kluge, E. Müller, Schlegel.
Laboratoriumsgehilfe: Mai; Technischer Gehilfe: Schäfer; Laboratoriumsarbeiter: Bauer, Welzel (s. a. Chem. Lab.), Gurisch, Kühnast; Heizer: Repnow, Metzner.

Büro und Kanzlei II.

Bürovorsteher: v. Zweydorff, Rechnungsrat; Regierungsinspektor: Tappert; Telegraphensekretär: Peßara[1]); Kanzleisekretäre: Hoffmann, Kolms; Stenotypistin: Dunkelberg.
Kastellan: Klawitter; Amtsgehilfe: Leipner.

Abteilung III (Wärme und Druck).

Direktor: Prof. Dr. Holborn, Geh. Reg.-Rat.

Unterabteilung IIIa:

Leiter: Direktor Holborn.
Ober-Regierungsräte und Mitglieder: Prof. Dr. Henning, Prof. Dr.-Ing. Jakob, Maschinen-Ingenieur; Regierungsrat Dr. Heuse; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter: Dr. Otto, Dipl.-Ing. Erk; Technischer Sekretär: Krause; Maschinenmeister: Bobsin; Techniker: Diemke, Helmbrecht; Techniker (Angestellter): Wacker; Techniker auf Probe: Räther.

Unterabteilung IIIb:

Leiter: Ober-Regierungsrat und Mitglied: Prof. Dr. Scheel, Geh. Reg.-Rat.
Ober-Regierungsräte und Mitglieder: Prof. Dr. Grützmacher, Prof. Dr. Hoffmann; Regierungsräte: Dr. Moeller, Dr. Disch; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter: Dr. Ebert;

[1]) Kommissarisch beschäftigt.

Wissenschaftlicher Angestellter: Dr. Blankenstein; Technischer Obersekretär: Koch; Technische Sekretäre: Knackfuß, Nerrlich, Kühnemund, Zeidler, Zentgraf; Techniker: Roth, Geyer, Schöltzel, Sperling, Schrickel, Jahn, Lips, Schellhorn, Lange, Brändle, Max Schulze, Langenberg; Hilfstechniker: Lautsch, Ehrhardt; Techniker (Angestellter): Lewandowski; Amtsgehilfe (Angestellter): Engel. Laborantinnen: Schnabel, Auguste Schmidt, Johanna Klitzing, Barz, Horlbogen, Musick, Thurn, Klingner, Klink, Friederichs, Schulz, Kühnemund, Elfriede Schmidt, Gutmann, Fromm, Jahn, Noffke, Gröpler, Neumann, Käthe Klitzing, Brüne; Laborant: Salewski; Laborantinnen: Manger, Hüter, Most, Raatz, Schrickel; Laborant: Pörschke; Laborantinnen: Edith Eichner, Harms, Fischer, Joithe, Krüttgen, Knebel, Lucht, Ziggel, Brune, Meier Herta Eichner, Frank, Nachtigall.

Büro und Kanzlei III.

Bürodiätar: Meier; Kanzleiassistent: Klingner; Stenotypistin: Hintze. Amtsgehilfe: Burow; Technischer Gehilfe: Gutowski; Laboratoriumsarbeiter: Mielke.

Dem Herrn Präsidenten direkt unterstellt:

1. *Laboratorium für Radioaktivität:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Geiger; Regierungsrat: Dr. Bothe; als freiwilliger Mitarbeiter: Studienrat Dr. Kohlhörster; Technischer Sekretär: Schultz; Techniker: Schrader, Görke; Hilfstechniker: Schroeter.
2. *Chemisches Laboratorium:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied: Prof. Dr. Mylius, Geh. Reg.-Rat; Regierungsrat Dr. Noddack; Wissenschaftlicher Hilfsarbeiter: Dr. Tepohl; Technischer Sekretär: Lenz; Amtsgehilfe: Falk; Hilfslaboratoriumsdiener: Welzel (s. auch Abt. II^b).
3. *Präzisionsmechanisches Laboratorium:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied: Prof. Dr. Göpel (s. 4); Regierungsräte: Blaschke, Dr. Werner; Technischer Sekretär: Zander; Hilfstechniker: Neumann.
4. *Werkstatt:*
   Ober-Regierungsrat und Mitglied: Prof. Dr. Göpel (s. 3); Technische Sekretäre: Genz, Seydel; Techniker: Lada, Neumann, Schär, Hameyer, Ehmke, Liebers; Hilfstechniker: Hohnhorst, Apwisch, Moldenhauer; Laboratoriumsgehilfe: Grauer I.
5. *Störungsfreies Laboratorium auf dem Telegraphenberg bei Potsdam:*
   Ein ständiges Personal für dieses Laboratorium besteht nicht, dasselbe wechselt vielmehr je nach Art der hier auszuführenden Arbeiten.
6. *Zur Unterhaltung des Dienstgartens:*
   Gärtner Lüdde und Czarnitzki.
7. *Zur Bewachung des Dienstgrundstücks:*
   Wächter Dorn.

Bücherbesprechungen.

Näbauer, Vermessungskunde. (Otzen, Handbibliothek für Bauingenieure. Teil I, Bd. 4.) 4°. X + 338 S. m. 344 Abb. Berlin, Julius Springer. 1922. Gebd. Gz. 11.

Dieses vom Professor der Geodäsie an der Techn. Hochschule in Karlsruhe verfaßte Buch bildet den 4. Band des I. Teiles der von R. Otzen herausgegebenen Handbibliothek für Bauingenieure. Es ist für Studierende des Bauingenieurfachs bestimmt, wird aber auch andern Kreisen von gutem Nutzen sein. Der 333 Seiten starke Text wird durch 344 Abbildungen unterstützt, von denen eine große Anzahl guter Schnitte und sonstiger Abbildungen auf den fast ein Drittel des ganzen umfassenden Abschnitt über Instrumentenkunde entfällt. Mit Recht hat der Verfasser bei allen Meßmethoden Genauigkeitsbetrachtungen angestellt, denn mehr als je wird es in Zukunft

für den Ingenieur notwendig sein, Instrument und Meßmethode so zu wählen, daß der im Einzelfall verlangte Genauigkeitsgrad auf schnellstem Wege erreicht wird. Bei den vielgestaltigen Aufgaben der Ingenieurpraxis würden schematisch ausgeführte Messungen die Anforderungen an Genauigkeit oft nicht treffen und deshalb meist viel zu teuer sein.

Der Inhalt des Buchs gliedert sich in Elemente der Fehlertheorie, Elemente der Instrumentenkunde, Aufnahmearbeiten, Planherstellung und Flächenberechnung, Absteckungsarbeiten. Die wichtigsten Teile sind ausführlich behandelt, einige andere, für die sonst gute Anleitungen vorhanden sind, wurden kurz gehalten, um den für das Handbuch festgesetzten Umfang nicht zu überschreiten. Ein alphabetisch geordnetes Sachregister erleichtert das Nachschlagen. Papier und Druck sind vorzüglich. *Haußmann.*

J. Kepler, Grundlagen der geometrischen Optik (im Anschluß an die Optik des Witelo). Übersetzt von F. Plehn. Durchges. und herausgeg. von M. v. Rohr. Ostwalds Klassiker Nr. 198. 8°. 152 S. m. 42 Abb. Leipzig, Akad. Verlagsges. 1922.

J. Keplers Behandlung des Sehens. Nach den Paralipomena vom Jahre 1604 übersetzt von F. Plehn †. *Zeitschr. für ophthalm. Opt.* ***8.*** *S. 154/7, 1920;* ***9.*** *S. 13/26, 40/54, 73/87, 103/9, 143/52, 177/82. 1921* m. 13 Abb.

Kepler hat sich in zwei Werken ausführlich mit Optik befaßt, zuerst in dem hier vorliegenden von 1604, dann in seiner Dioptrik von 1611. F. Plehn, dessen Übersetzung des letztgenannten Werkes 1904 erschienen war (Ostwalds Klassiker Nr. 144), hatte bald darauf auch die erste Schrift handschriftlich übertragen und sich über ihre Bedeutung geäußert[1]); nach seinem Tode erhielt M. v. Rohr die Plehnsche Handschrift zur Durchsicht und hat nun die für den Optiker und Augenarzt besonders wichtigen Teile veröffentlicht.

Keplers Arbeit erscheint als Nachtrag zu Witelos Lehrbuch über Optik. Es werden wenige Menschen leben, die dies Lehrbuch gelesen haben, und selbst nicht allzu viele, die es einmal durchgesehen haben, glücklicherweise ist dies zum Verständnis von Keplers Nachträgen auch nicht nötig. — Zur damaligen Zeit aber war es das Lehrbuch, aus dem man die Optik lernte. Aus eigenem mag Witelo nicht viel geschöpft haben, aber er hat uns eine gute und sorgsame Zusammenfassung der Kenntnisse seiner Zeit (13. Jahrhundert) nach den alten Quellen gegeben. Sieht man hinein, so findet man — gegen ein verbreitetes Vorurteil — ausführliche Darstellungen von Versuchen und Versuchsvorrichtungen, mathematische Beweise, dazwischen freilich Auseinandersetzungen, wie wir sie jetzt im üblen Sinne als „scholastisch" bezeichnen; Witelo scheint diese für ebenso triftig zu halten, wie die anderen.[2]) Für uns ist das Buch wegen seiner Weitschweifigkeit schwer genießbar.

Witelo spricht über die Fortpflanzung des Lichtes in geraden Linien, die Perspektive, das Sehen, die Spiegelung, die Brechung, die astronomische Refraktion, den Regenbogen. Anstatt des Brechungsgesetzes behalf er sich mit einer Tafel. Für die Spiegel leitet er den Bildort nach einem falschen Grundsatze ab, Linsen (außer Kugeln) und Prismen scheint er nicht zu kennen, nur die Farben bei Brechung durch eine sechsseitige Kristallsäule erwähnt er.

Dreihundert Jahre lang hat dies Lehrbuch die Optik beherrscht, obgleich die Zeit praktisch nicht unfruchtbar war. Es wurden bald nach Witelos Werk die Brillen erfunden, Leonardo da Vinci oder Papnutio erfand die Lochkamera, die Caesare Caesariano 1521 veröffentlichte, D. Barbaro gab 1568 die Kammer mit Linse an (s. L. Mauthner, Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges *S. 858/60*); das Prisma kam in Gebrauch, auch Mikroskop und Fernrohr wurden ohne Beeinflussung durch das Keplersche Buch gefunden.

---

[1]) Johannes Kepler: *Paralipomena ad Vitellionem seu Astronomiae pars optica. Arch. für Opt.* ***1.*** *S. 74/77, 114/6, 156/8. 1907/8.*

[2]) *Lib. V, Prop. XVIII* behauptet Witelo, daß das Licht bei der Spiegelung den kürzesten Weg nehme, weil die Natur in den kürzesten Linien wirke. *Prop. XIX* zeigt er, daß dies für den ebenen und erhabenen Spiegel aus dem Spiegelgesetz folge, er scheint also gemerkt zu haben, daß es beim Hohlspiegel nicht stimmt, läßt aber die erste Stelle ruhig stehen.

Aber um diese Entdeckungen weiter auszubilden, war eine klare Erkenntnis ihrer Grundlagen nötig und dafür bot Witelos Werk und auch die kleinen ihn hie und da ergänzenden Arbeiten der Schriftsteller des 16. Jahrhunderts, wie Maurolycus und Porta, nur unzureichende Vorarbeiten.

Kepler kam von der Astronomie her. Tycho de Brahe hatte versucht, aus seinen Beobachtungen genauere Tafeln für die astronomische Refraktion abzuleiten, und Kepler kam der Gedanke, diese Tafeln unter die Regel eines Naturgesetzes zu stellen. Weitere optische Erscheinungen, die Finsternisse, die Mondphasen, auch die Parallaxe, kamen hinzu: endlich aber auch die Überzeugung, daß zur richtigen Beurteilung von Beobachtungen die Kenntnis des Sehvorganges nötig sei. Dies veranlaßte Kepler, einen optischen Teil der Astronomie zu schreiben, und einmal mit der Optik beschäftigt, gab er den Ergänzungen zu dem üblichen Lehrbuch eine größere Ausführlichkeit.

Der erste Teil (Kap. I—V) ist mehr optischer, der zweite (Kap. VI—XI) mehr astronomischer Art. Der Herausgeber hat Plehns Übersetzung von Kap. II—IV in den Ostwaldschen Klassikern, Kap. V in der *Zeitschr. für ophthalm. Opt.* veröffentlicht, und so sind Keplers optische Werke auch dem zugänglich gemacht, der sie in der Ursprache nicht lesen kann oder mag.

Freilich ist das erste, mehr theoretische Kapitel fortgelassen. Es zeigt auch eine Wandlung der Anschauung seit Witelo. Dieser läßt zwar das Licht von den Gegenständen zu uns kommen, gleichzeitig aber spielen sich verbreitende, wohl aus der epicuräischen Schule herührende *formae* eine Rolle, Witelo mag meinen, daß das Licht sie von den Gegenständen fortrisse. Bei Kepler ist nicht mehr die Rede davon, nur vom Licht, seiner Ausbreitung und von seiner Verhüllung der Farbe. — Für einen Geschichtsschreiber wäre es auch reizvoll, die allmähliche Ausbildung des Begriffs der unregelmäßigen Zurückwerfung zu prüfen, von der Kepler *Kap. I, Prop. 22*, und auch *Kap. VI, 2* spricht (unter dem Namen *lux communicata*).

Der Berichtende hat über die optischen Kapitel schon vor drei Jahren geschrieben[1]), er gibt hier noch einen Überblick über die optischen Fortschritte, die Kepler in seinem Werke erreichte, ohne sich an die Reihenfolge bei Kepler zu halten.

a) Es wird (*Kap. II*) eine genaue Darstellung der Wirkung einer optischen Vorrichtung, der Lochkammer, gegeben, wozu nur wenige, von Kepler gewissenhaft erwähnte Vorarbeiten (wie Betrachtung des Baumschattens bei voller Sonne und bei Sonnenfinsternissen), gegeben waren.

b) Kepler ist bestrebt (*Kap. IV*), an Stelle der Bestimmung der Brechung durch Tafeln ein Gesetz zu geben. Dies gelingt ihm trotz ungeheurer Mühe nicht, aber seine Vorarbeiten sind es, die wahrscheinlich Snell und sicher Descartes die Möglichkeit zur Aufstellung der Regel gaben.

c) Den Ort des Bildes hatte Witelo mit allen Vorgängern auf dem Schnittpunkt des gespiegelten oder gebrochenen Strahles mit der Senkrechten vom Dingpunkte angenommen, eine Regel, die für den wichtigen Fall, daß der Dingpunkt selbst auf der Senkrechten liegt, überhaupt keine, allgemein eine unrichtige Bestimmung gibt. (Für Achsenpunkte bespricht Witelo immerhin die Brennwirkung.)

Kepler macht sich nicht ganz von der Annahme frei, aber

1. setzt (Kap. III, Satz XX) er statt der Senkrechten vom Dingpunkte die Senkrechte auf einer die Fläche im Einfallspunkte berührenden Kugel gleicher Krümmung, womit er die Krümmung, allerdings nicht ganz richtig, in die Mathematik einführt.[2])

2. sucht er die alte Lehre besser zu begründen (*Kap. III, 1* und *2 Satz XVII*) und schränkt sie infolgedessen wesentlich ein (*Satz XVIII, XIX*).

3. gibt er (*Kap. V, Satz VIII, IX*) für die Kugel eine Darstellung der sphärischen Abweichung und bestimmt für einen Achsenpunkt, wenigstens im Falle des aufgefangenen Bildes, dessen Ort als den Grenzpunkt der Schnittpunkte mit der Achse (*Kap. V, Satz VIII, XV, XX*), auch erkennt er die Bedeutung einer Blende (*Kap. V. Satz XXIII*).

[1]) Einiges aus der Geschichte des Brechungsgesetzes *Centralztg. f. Opt. u. Mech. 40. S. 94/7, 103/5, 113/6, 121/4, 1919.*

[2]) Krümmungsverhältnisse ist *S. 54* bei Plehn ein Übersetzungsfehler, bei Kepler steht die Einzahl.

d) Kepler gibt (*Kap. V*), gestützt auf bessere anatomische Kenntnisse, eine im wesentlichen zutreffende Darstellung des Sehvorganges, die von der Witelos völlig abweicht. — Er betont scharf die Entstehung des umgekehrten Bildes auf der Netzhaut und erkennt die Bedeutung der Augendrehung, wenn auch der Unterschied von direktem und indirektem Sehen erst von Scheiner erkannt wurde, um dann wieder verloren zu gehen. Die Wirkung der Brillen behandelt *Kap. V, Satz XXVIII.*

e) Insbesondere betont Kepler die Bedeutung des beidäugigen Sehens für die Entfernungsschätzung (*Kap. III, 2 Satz 1—VIII, Kap. V* versch. Stellen, auch im astronom. Teil *Kap. IX, 2*).

Für die Geschichte der Astronomie sind im veröffentlichten Teile von Wert die Betrachtungen über die astronomische Refraktion (*Kap. IV, 6—10*) und über die durch den Sehvorgang entstehenden Fehler bei astronomischen Beobachtungen (*Kap. V, 5*).

Plehn macht (*Arch. für Opt. 1. S. 75*) auf das beinahe klassische Latein Keplers und die Schwierigkeiten der Übersetzung aufmerksam. Der Berichtende hat den Eindruck, als sei zuweilen zu wörtlich übersetzt, das Verständnis wird hierunter wie unter den vereinzelten Druck- oder Schreibfehlern (*Zeitschr. f. ophth. Opt. 8. S. 155 vorl. Zeile* fehlt „nicht“, *9. S. 16, Z. 11* ist „äußeren“ statt „inneren“ zu lesen usf.) wohl nicht viel leiden. Plehn hätte aber nicht den Ausdruck „Einfallswinkel“ für das Komplement des heute so genannten Winkels brauchen sollen, mochte er sich auch auf Kepler berufen können. Bei den Anführungen aus Witelo bedeutet p. „propositio“, nicht aber „Seite“, wie *a. a. O. 9. S. 20* mehrmals geschrieben ist.

Großenteils verunglückt ist die Übersetzung des Schlusses von *Kap. IV*, Keplers Darstellung der Beobachtungen Walthers, namentlich hat Walther nicht (*S. 140*) die Durchsichtsinstrumente Alhazens und Witelos, sondern nur ihre Bücher gesehen; hoffentlich bildet sich hier kein geschichtliches Märchen!

Es ist sehr bedauerlich, daß von der Arbeit Plehns bisher nur ein Teil der Öffentlichkeit zugänglich gemacht ist; auch so dürfte freilich das Keplersche Werk eine der anregendsten Erscheinungen der Ostwaldschen Klassiker sein, aus der man nicht allein über Tatsachen, sondern weit mehr über die Art des Forschens und die Entwickelung der Wissenschaft belehrt wird. Möchte auch die Bekanntgabe des zweiten Teiles bald möglich sein. *H. Boegehold.*

W. Nernst, Das Weltgebäude im Lichte der neuen Forschung. Kl. 8°. 63 S. Berlin, Julius Springer, 1921.

Die kleine Schrift, welche ihre Entstehung einem populären Vortrag verdankt, den der Verfasser im Winter 1920/21 hielt, umfaßt eine derartige Fülle neuer Gesichtspunkte, daß sie auch für Fachleute von hohem Werte ist, zumal in einem Nachtrag verschiedene Seiten des Problems näher ausgeführt sind.

Zwei wichtige Grundgedanken sind folgende: 1. Es ist unbefriedigend, daß gemäß der Kant-Laplaceschen Theorie die Welt einem Endzustand entgegengeht. Dem wird durch die Hypothese begegnet, daß durch zufällige Anhäufung von Nullpunktsenergie an einer Stelle des Äthers eine Neubildung von Atomen hohen Molekulargewichts stattfindet. 2. Die von den Gestirnen ausgestrahlte Wärmeenergie rührt von radioaktiven Prozessen her. Unter der Annahme einer radioaktiven Abklingungskurve läßt es sich erklären, daß die Fixsterne in ihrem Anfangsstadium sehr geringer Dichte zunächst verhältnismäßig niedrige Temperatur besitzen, die bei Kontraktion der Massen einen Maximalwert erreicht, um dann bei immer schwächer werdender radioaktiver Umwandlung wieder abzunehmen. *Henning.*

R. Grammel, Die mechanischen Beweise für die Bewegung der Erde. 8°. IV + 71 S. mit 25 Abb. Berlin, Julius Springer, 1922. Gz. 2.

Die Arbeit ist ein etwas erweiterter Abdruck eines Aufsatzes des Verfassers in den *Naturwissenschaften* (1921). Der Inhalt ist nicht nur theoretisch, sondern auch instrumentell von hohem Interesse. Das Studium des Buches sei deshalb unserem Leserkreis besonders warm empfohlen. *G.*

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

4. Heft: April.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1923.

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von je M. 1600,— für die Monate April und Mai 1923 zuzüglich Bezugsgebühren bezogen werden. Über die Auslandspreise s. Beilage im Februarheft.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 1450,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30 %	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **April 1923.** Viertes Heft.

Über die mit dem Ausdruck „Dezimalgleichung“ bezeichnete Art von regelmäßigen Fehlern bei der Zehntelschätzung im Zentimeterfelde von Nivellierlatten.

Von

Karl Lüdemann in Freiberg i. S.

(Schluß von S. 50.)

V. Der Versuch des Psychologen.

Neben die Nachweisung der Dezimalgleichung durch die vergleichende Aufarbeitung von Beobachtungsreihen tritt der Versuch des Psychologen, wie er uns in der schon mehrfach angezogenen Untersuchung von M. Bauch [1] vorliegt.

M. Bauch ließ durch je 10 verschiedene, nicht durchweg in Schätzungen erfahrene Beobachter je 300 Schätzungen von $^1/_{10}$ mm in der deutlichen Sehweite an einer zunächst horizontal, dann vertikal aufgestellten mm-Teilung vornehmen. Die einzelnen Zehntel, die zur Schätzung gelangten, wurden mit Hilfe eines Nonius eingestellt, ein Verfahren, das den Vergleich der gefundenen Ergebnisse mit praktischen Messungen sehr erschwert, worauf schon C. Müller [2 S. 32] hingewiesen hat.

Die vorliegenden 6000 Schätzungen sind, in 2 Reihen von je 3000 [10 × 300] Beobachtungen zusammengefaßt, in Tafel 19 nach der Auszählung, in Tafel 20 in Tausendsteln der Reihensummen und in Tafel 21 nach der Zehntelfolge nachgewiesen.

Tafel 19.

Stellung der Teilung	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ	Σ_r	Σ_m
Horizontal	323	355	340	282	287	214	231	269	370	329	323	3000	1719	1283
Vertikal	326	296	349	269	272	232	269	254	418	315	326	3000	1704	1296

Tafel 20.

Stellung der Teilung	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ	Σ_r	Σ_m
Horizontal	108	118	113	94	96	71	77	90	123	110	108	1000	572	428
Vertikal	109	99	116	90	91	77	90	85	138	105	109	1000	567	433

Tafel 21.

Horizontal	Zehntelfolge . .	5	6	7	3	4	0	9	2	1	8
	Häufigkeitsziffer	71	77	90	94	96	108	110	113	118	123
Vertikal	Zehntelfolge . .	5	7	6	3	4	1	9	0	2	8
	Häufigkeitsziffer	77	85	90	90	91	99	105	109	116	138

Es zeigt sich aus den Tafeln 19 bis 21, daß die mittlere Dezimalgleichung für beide Gruppen von Beobachtungen sehr große Ähnlichkeiten aufweist. Leider unterrichtet M. Bauch darüber, ob sich diese Ähnlichkeit auch in den Dezimalgleichungen der einzelnen Beobachter wiederfindet, nur zum Teil, da er seine Aufmerksamkeit im wesentlichen der Feststellung zuwendet, daß die an den Grenzen des Intervalls liegenden Zehntel 0, 1, 2, 8 und 9, die „Randzehntel“, gegenüber dem in der Mitte des Intervalls liegenden Zehntel 5 und den ihm benachbarten Zehnteln 3, 4 und 6, 7, den „Mittenzehnteln“, bevorzugt werden.

VI. Betrachtung der vorliegenden Dezimalgleichungen.

Zu einer Betrachtung der gesamten vorliegenden Ergebnisse der Zehntelschätzung von Raumgrößen sind diese in den Tafeln 22 und 23 zusammengestellt. Tafel 22 gibt die Häufigkeitsziffern der einzelnen Zehntel, ausgedrückt in Tausendsteln der tatsächlichen Gesamtsumme Σ der Abzählungen. Mit Σ_r und Σ_m sind die Summen der Randzehntel bzw. Mittenzehntel bezeichnet, die zu einem Teil schon in den vorhergehenden Tafeln angegeben sind.

Nimmt man an, daß jedem Zehntel die Häufigkeit $\frac{\Sigma}{10}$ oder $\frac{100}{1000}$ zukommt — eine Annahme, die bei wachsendem Σ an Wahrscheinlichkeit zunimmt —, und bezeichnet man bei den Werten der Tafel 22 jede Überschätzung mit $+\partial$, jede Unterschätzung mit $-\partial$, so erhält man aus

$$\triangle = \frac{[\partial\partial]}{n} \qquad n = 10$$

ein Genauigkeitsmaß für jede Dezimalgleichung bzw. für ihre „Ausgeglichenheit“, wie es Tafel 22 nachweist, jedenfalls aber eine interessante Charakterisierung.

Ferner ist in Tafel 22 für jede Dezimalgleichung die kleinste Häufigkeitsziffer in schrägen, die größte in fetteren Lettern hervorgehoben.

Tafel 23 gibt die Zehntelfolgen, jede Folge geordnet nach der aufsteigenden Häufigkeitsziffer.

Tafel 22.

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Σ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ_r	Σ_m	$\triangle$
	Praktische Beobachtungen.															
1	Großmann *A*	>3000	122	**225**	114	77	48	76	84	*37*	56	161	122	678	322	± 54,8
2	„ *B*	>2000	**144**	*27*	143	138	103	104	62	111	96	72	**144**	482	518	36,0
3	„ *C*	>1000	147	69	95	70	**164**	71	112	*53*	152	67	147	530	470	39,0
4	„ *D*	>7000	153	55	**166**	123	70	52	80	125	130	*46*	153	550	450	42,2
5	„ *E*	>1000	81	*51*	96	102	129	**171**	161	80	71	58	81	357	643	39,2
6	„ *F*	>1000	67	*11*	**202**	82	159	78	90	97	184	30	67	494	506	59,8
7	Meißner	12590	**201**	108	88	68	*66*	118	71	71	100	109	**201**	606	394	38,3
8	Plaßmann *a*	2170	64	91	112	106	117	*61*	108	108	112	**121**	64	500	500	20,2
9	„ *b*	332	51	72	**181**	87	145	81	93	109	136	*45*	51	485	515	40,9
10	Lüdemann *I*	8139	**174**	94	96	85	135	*57*	83	72	94	110	**174**	568	432	31,7
11	„ *M*	11932	102	100	94	**109**	105	*82*	99	102	108	99	102	503	497	7,4
12	„ Goe.	8586	**137**	113	82	85	99	104	99	*81*	90	110	**137**	532	468	16,3
13	„ Br.	3568	119	88	103	104	*77*	**139**	89	87	98	96	119	504	496	17,0
	Zahl der Überschätzungen . . .		9	4	7	6	8	5	3	5	7	5	9			
	Zahl der Unterschätzungen . . .		4	9	6	7	5	8	10	8	6	8	4			
	Höchstwerte für Überschätzungen		4	1	3	1	1	2				1	4			
	Höchstwerte für Unterschätzungen			3			2	3		3		2				

Tafel 22 (Fortsetzung).

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Σ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Σ_r	Σ_m	$\triangle$
	Praktische Versuchsbeobachtungen.															
14	Lüdemann *II*	1000	**174**	97	**97**	89	135	*50*	84	75	93	106	174	567	433	32,1
15	„ *III*	1000	104	109	114	107	68	55	*52*	121	**138**	132	104	597	403	29,3
	Psychologische Versuchsbeobachtungen.															
16	Bauch, horizontal	3000	108	118	113	94	96	*71*	77	90	**123**	110	108	572	428	16,5
17	„ vertikal	3000	109	99	116	90	91	*77*	90	85	**138**	105	109	567	433	16,9

Tafel 23.

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Zehntelfolge									
	Praktische Beobachtungen.										
1	Großmann *A* . .	7	4	8	5	3	6	2	0	9	1
2	„ *B* . .	1	6	9	8	4	5	7	3	2	0
3	„ *C* . .	7	9	1	3	5	2	6	0	8	4
4	„ *D* . .	9	5	1	4	6	3	7	8	0	2
5	„ *E* . .	1	9	8	7	0	2	3	4	6	5
6	„ *F* . .	1	9	0	5	3	6	7	4	8	2
7	Meißner	4	3	7	6	2	8	1	9	5	0
8	Plaßmann *a* . .	5	0	1	3	6	7	8	2	4	9
9	„ *b* . .	9	0	1	5	3	6	7	8	4	2
10	Lüdemann *I* . .	5	7	6	3	1	8	2	9	4	0
11	„ *M* .	5	2	6	9	1	0	7	4	8	3
12	„ Goe. .	7	2	3	8	4	6	5	9	1	0
13	„ Br. .	4	7	1	6	9	8	2	3	0	5
	Praktische Versuchsbeobachtungen.										
14	Lüdemann *II* .	5	7	6	3	8	1	2	9	4	0
15	„ *III* .	6	5	4	0	3	1	2	7	9	8
	Psychologische Versuchsbeobachtungen.										
16	Bauch horizontal	5	6	7	3	4	0	9	2	1	8
17	„ vertikal .	5	7	6	3	4	1	9	0	2	8

Das vorliegende Material ist gegliedert in „Praktische Beobachtungen“, „Praktische Versuchsbeobachtungen“ und „Psychologische Versuchsbeobachtungen“.

Ein Betrachtung der Gruppe „Praktische Beobachtungen“ der Tafel 22, die hier allein in Frage kommt, zeigt, daß jede Dezimalgleichung eine dem einzelnen Beobachter persönlich eigene Form besitzt.

Es gibt kein Zehntel, das von allen Beobachtern gleichmäßig übergeschätzt oder untergeschätzt wird. Es scheint aber, als ob gewisse einzelne Zehntel von der Mehrzahl der Beobachter bevorzugt [z. B. Zehntel 0] oder vernachlässigt [z. B. Zehntel 1 und 6] werden.

Die Feststellung von G. Lewitzky [6], „daß einige von den mittleren vier Zehnteln [0,4 bis 0,7] von jedem Beobachter am seltensten notiert werden“, findet sich bestätigt in 8 von 13 Fällen; sie kann also keine allgemeine Gültigkeit beanspruchen.

Das Ergebnis von M. Bauch [1 S. 224], daß „die Randzehntel [0, 1, 2, 8, 9] bevorzugt, die Mittenzehntel [3, 4, 5, 6, 7] vernachlässigt“ werden, wird in 8 Fällen bestätigt, in 4 Fällen nicht bestätigt, während in einem Fall Gleichheit [$\Sigma_r = \Sigma_m = 500$] besteht. Auch hier kann also eine allgemeine Gültigkeit nicht festgestellt werden.

Eine weitere Auswertung der Tafeln 22 und 23, die in mancher Hinsicht interessante Ergebnisse liefern würde, muß mit Rücksicht auf den hier verfolgten praktischen Zweck und den Mangel an Raum an dieser Stelle unterbleiben.

VII. Psychologische Auswertung von praktischen Beobachtungsreihen.

Eine psychologische Auswertung der Auszählung praktischer Beobachtungsreihen ist außerordentlich schwierig[1]), wenn nicht ganz unmöglich, da jede Dezimalgleichung als Ergebnis von Gruppen von psychophysischen und physiologischen Fehlereinflüssen anzusehen ist, die sich mindestens zu einem Teil gegenseitig überdecken.

Auch die Beschränkung auf die Dezimalgleichung eines einzigen Beobachters für eine größere Anzahl gleicher Beobachtungen führt hier nur in Ausnahmefällen zum Ziel, da auch nach der zahlenmäßigen Erfassung physiologischer Fehlereinflüsse die Unveränderlichkeit der Ergebnisse psychologischer Beeinflussung der einzelnen Messung nicht gewährleistet ist.

Es läßt sich daher eine allgemeingültige „Theorie der Zahlenbevorzugung beim Schätzen" [M. Bauch] aus praktischen Beobachtungen nicht aufstellen.

Will die angewandte Psychologie die Frage nach der Entstehung und Gestalt der Dezimalgleichung durch den Versuch klären, so müssen die Voraussetzungen des Versuches so gehalten sein, daß die Ergebnisse auf die Praxis der Messung übertragen werden können. Derartige Versuchsbeobachtungen sind in sachgemäßer Ergänzung, Vervollständigung und Fortführung der Arbeit von M. Bauch [1] dringend erforderlich.

VIII. Dezimalgleichung und praktische Messung.

Aus der Tafel 12 geht hervor, daß die bei einer Einwägung der hier geschilderten Art bei dem Beobachter L. auftretende Dezimalgleichung auch bei Anwendung einer Wendelatte mit zwei um eine Intervallhälfte gegeneinander verschobenen Teilungen[2]) in ihrer Wirkung auf das Ergebnis nicht völlig ausgeschaltet werden kann.

Es liegt daher nahe, die durch die Dezimalgleichung bedingten regelmäßigen Fehler rechnerisch zu bestimmen. Wege hierzu sind von N. Zinger [8], F. Gonnessiat [10] und E. Großmann [11] angegeben worden, wobei allerdings nicht unbeachtet bleiben darf, daß für jede Fehlerberechnung mindestens eine Annahme zu Grunde gelegt werden muß, deren Wahrscheinlichkeitsgrad für die Zulässigkeit und Sicherheit der Fehlerbestimmung entscheidend ist.

---

[1]) Siehe hierzu meine kurzen Bemerkungen zum Zehntel 5 [28 S. 7—8].

[2]) Für die Verschiebung der beiden Teilungen einer Wendelatte gegeneinander habe ich im Laufe von 11 Jahren praktischer Vermessungstätigkeit folgende aus praktischen Messungen gewonnene Feststellungen gemacht:

Lfd. Nr.	Länge der Latte	Verschiebung mm	Anzahl der Beobachtungen
		5 mm	
1	3	+ 0,19	438
2	4	− 0,21	1097
3	4	− 0,34	602
4	4	− 0,10	397
5	4	− 0,44	448
6	5	− 0,26	212
7	5	− 0,78	244

Es handelte sich durchweg um Latten mit Zentimeterfeldteilung, die für Feineinwägungen bestimmt waren.

Aus den bekannten älteren und den hier neu mitgeteilten Beobachtungsreihen folgt nun aber, daß die Dezimalgleichung eines Beobachters selbst für zeitlich ziemlich eng miteinander verbundene, sich über einen verhältnismäßig eng begrenzten Zeitraum erstreckende Beobachtungen gleicher Art nicht grundsätzlich unveränderlich ist, daß vielmehr erhebliche Schwankungen vorkommen können und tatsächlich vielfach vorkommen [1]).

Es entzieht sich vollkommen unserer Kenntnis oder Feststellung, in welchem Maße die einzelne Schätzung durch die Verteilung der Aufmerksamkeit auf die verschiedenen Vorgänge der Beobachtung oder Messung, durch geistige Abspannung und körperliche Ermüdung des Beobachters und durch die Gesamtheit der wechselnden „äußeren“ Einflüsse und Verhältnisse beeinflußt worden ist. Es könnte daher nur im einzelnen Fall entschieden werden, ob für eine größere Beobachtungsreihe die Anbringung von für diese Reihe und aus ihr besonders errechneten Verbesserungen zulässig ist.

Bei geodätischen Messungen bzw. Schätzungen müßten diese Verbesserungen nun in der Regel an der einzelnen Beobachtung angebracht werden, was sowohl der eigenen Unsicherheit der Verbesserung, wie auch der Umständlichkeit und des Zeitaufwandes wegen für praktische Arbeiten im allgemeinen nicht in Aussicht genommen werden kann. Es kommt hinzu, daß die aus diesen regelmäßigen Schätzungsfehlern herrührenden Ungenauigkeiten in der Regel nicht allzu bedeutungsvoll sein werden, worauf O. Meißner [12] bereits hingewiesen hat.

Es ist ferner zu beachten, daß die Dezimalgleichung eines Beobachters für verschiedene Arten von Beobachtungen ebenfalls nicht unveränderlich ist, daß vielmehr sehr erhebliche Abweichungen festgestellt sind. Welche Rolle hierbei die Größe, Begrenzung, Farbe, Gestalt und Lage des Intervalls und die Art, Stärke und Lage des Zeigerstriches spielen, ist vorläufig noch unbekannt.

Es kann daher die Forderung von M. Bauch [1 S. 226] [2]):

„Für die Praxis der naturwissenschaftlichen Messungen ergibt sich aus meinen Untersuchungen die Forderung der Anbringung von Korrektionen für die einzelnen Zehntel“

auf die Messungen der praktischen Geometrie, abgesehen von seltenen Ausnahmefällen, keine Anwendung finden.

Bei entsprechender Gestalt der Dezimalgleichung ist es natürlich möglich, durch drei Fäden, von denen die beiden äußeren symmetrisch oder unsymmetrisch zum Mittelfaden angebracht sind, bei unveränderlicher Zielweite die Folgen der Zehntelbevorzugung, falls diese unveränderlich wäre, im wesentlichen zu beseitigen, jedoch ist ein solches Verfahren ohne praktischen Wert [3]).

Die Methodik des Meßwesens hat auch in der praktischen Geometrie [4]) die Aufgabe, den Einfluß der Dezimalgleichung durch Anordnung der Meßweise und Aus-

---

[1]) Daß aber auch verhältnismäßig geringe Schwankungen vorkommen können, beweist meine frühere Untersuchung [28].

[2]) Es wäre interessant, auf die gleichzeitig von M. Bauch gestellte, von K. Marbe [45 S. 10] schon früher erhobene Forderung „einer Ergänzung der mathematischen [Gaußschen] Fehlertheorie durch eine empirisch-psychologische“ unter gleichzeitiger Behandlung der verschiedenen Gruppen von psychophysischen und physiologischen Fehlerquellen einzugehen, jedoch ist das im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

[3]) Das gilt ebenso von einer größeren Anzahl von Horizontalfäden, von der Anbringung von 2 Zeigerstrichen mit entsprechend gewähltem Abstand, von der Benutzung von 2 um einen zweckmäßigen Intervallteil gegeneinander verschobenen Teilungen und ähnlichen Hilfsmitteln.

[4]) Für die Astronomie beachte man etwa die Arbeiten von P. Labitzke [40] und W. Wirth [41].

gestaltung der Meßinstrumente nach Möglichkeit auszuschalten oder klein zu halten. Wenn hierbei auch in manchen Fällen die Ablesung an die Stelle der Schätzung treten kann, soweit das technisch und wirtschaftlich zweckmäßig erscheint, so kann auf die Schätzung von Zehnteln und Zwanzigsteln jedoch nicht verzichtet werden.

Von grundsätzlicher Bedeutung für die Ausschaltung von regelmäßigen Fehlern der verschiedensten Art ist aber die Forderung, das Beobachtungsverfahren soweit als möglich zu vereinfachen und besonders den Beobachter nach Möglichkeit von die Aufmerksamkeit ablenkenden oder sie zu einem Teil beanspruchenden Nebensächlichkeiten zu entlasten. Welche guten Erfolge hierdurch bei Feineinwägungen erzielt worden sind, ist bekannt.

In denjenigen seltenen, für die gewöhnliche Praxis bedeutungslosen Fällen, in denen die Auswirkung der Dezimalgleichung gegenüber dem wissenschaftlich und bzw oder wirtschaftlich berechtigten inneren und äußeren Genauigkeitsgrad des Ergebnisses von Belang sein kann, ist zu prüfen, ob Beobachter mit ungewöhnlich ungünstiger Gestalt der Dezimalgleichung von diesen Beobachtungen auszuschalten sind.

IX. Zusammenfassung der Ergebnisse.

1. Jede Dezimalgleichung besitzt eine dem betreffenden Beobachter für die einzelne Art von Beobachtungen eigentümliche Form [F. Bouquet Schlußfolgerung 2].

2. Die Dezimalgleichung verschiedener Beobachter verläuft bei der gleichen Art von Beobachtungen nicht gleich oder ähnlich.

3. Die Dezimalgleichung unterliegt periodischen säkularen Schwankungen und bzw. oder unregelmäßigen, sprunghaften Änderungen. Sie kann aber auch für längere Zeit nahezu unveränderlich bleiben.

4. Es gibt kein Zehntel, das von allen Beobachtern gleichmäßig übergeschätzt oder untergeschätzt wird, wenngleich einzelne Zehntel von der Mehrzahl der Beobachter eine gewisse Bevorzugung oder Vernachlässigung zu erfahren scheinen.

5. Es gibt keine Gruppe von Rand- oder Mittenzehnteln, die von allen Beobachtern gleichmäßig übergeschätzt oder untergeschätzt wird, wenngleich die „mittleren Zehntel" von G. Lewitzky und die „Mittenzehntel" von M. Bauch von der Mehrzahl der Beobachter anscheinend vernachlässigt werden.

6. Die Dezimalgleichung eines Beobachters ist für verschiedene Arten von Beobachtungen nicht unveränderlich. Es ist ohne Allgemeingültigkeit zu vermuten, daß die Eigenart des Intervalls und des Zeigerstriches auf die Gestalt der Dezimalgleichung von Einfluß ist.

7. Es ist ohne Allgemeingültigkeit zu vermuten, daß die Lage des Intervalls und des Zeigerstriches zum Auge des Beobachters die Gestalt der Dezimalgleichung beeinflußt.

8. Die Dezimalgleichung ist aufzufassen als das Ergebnis von Gruppen psychophysischer und physiologischer Fehlereinflüsse, die sich mindestens zu einem Teil gegenseitig überdecken.

9. Eine allgemein gültige Theorie der Zahlenbevorzugung beim Schätzen von Raumgrößen läßt sich nicht aufstellen.

10. Die psychologische Auswertung praktischer Beobachtungsreihen kann zu allgemeingültigen Ergebnissen, besonders zu einer Theorie der Zahlenbevorzugung beim Schätzen von Raumgrößen, nicht führen.

11. Eine Erklärung der einzelnen Dezimalgleichung ist, wenn überhaupt, nur durch eine besondere Untersuchung der einzelnen Fehlerquellen und zwar vom Standpunkt der praktischen Meßkunst und der Psychologie aus zu erwarten.

12. Die angewandte Psychologie muß ihre Versuche über die Entstehung und Gestalt der Dezimalgleichung so anstellen, daß die Ergebnisse auf die Praxis der Messung übertragen werden können.

13. Bei Messungen der praktischen Geometrie kommt die an sich unsichere Anbringung von Verbesserungen zum Ausgleich der Dezimalgleichung aus technischen und wirtschaftlichen Gründen, abgesehen von ganz seltenen Ausnahmefällen, nicht in Frage.

14. Dem Einfluß der Dezimalgleichung ist in der praktischen Geometrie durch die Methodik des Meßwesens Rechnung zu tragen, soweit das überhaupt möglich ist. Hierbei soll in geeigneten Fällen, soweit das technisch und wirtschaftlich zweckmäßig ist, die Ablesung, d. h. Messung, als solche möglichst ausgenutzt werden. Auf die Schätzung von Zehnteln und Zwanzigsteln kann aber keinesfalls verzichtet werden.

15. Es darf von vornherein und ohne Untersuchung des Einzelfalles nicht vorausgesetzt werden, daß bei feinen Einwägungen die Wirkung der Dezimalgleichung durch die Anwendung einer Wendelatte mit zwei um eine Intervallhälfte gegeneinander verschobenen Teilungen ausgeschaltet wird.

16. Beobachter mit ungewöhnlich ungünstiger Gestalt der Dezimalgleichung sind in den seltenen Ausnahmefällen, in denen durch sie das Ergebnis in unzulässigem Maße beeinflußt werden würde, von den Beobachtungen auszuschließen.

Freiberg, 1921 November 6.

Verzeichnis der angezogenen Schriften.

1. Bauch, M.: Psychologische Untersuchungen über Beobachtungsfehler. *Fortschr. d. Psychologie und ihrer Anwendungen* **1**. *S. 169—226. 1913.*
2. Müller, C.: Einiges über Beobachtungsfehler beim Abschätzen an Teilungen geodätischer Instrumente. *Fortschr. d. Psychologie und ihrer Anwendungen* **4**. *S. 1—33. 1916.*
3. Cohn, J.: Theorie der astronomischen Winkelmeßinstrumente, der Beobachtungsmethoden und ihrer Fehler. *Enzyklopädie d. math. Wissensch. VI. Teil 2, Heft 2, S. 195—286.*
4. Hartmann, J.: Einige Beobachtungen und Bemerkungen über Personaldifferenz. *Grunerts Arch. d. Math. u. Physik* **31**. *S. 1. 1858.* Auch *Astron. Nachr.* **65**. *Sp. 129. 1865.*
5. Bouquet, F.: *Recherches sur la valeur des observations de passages. Bull. astronomique* **6**. *S. 337. 1889.*
6. Lewitzky, G.: Über den persönlichen Fehler bei Durchgangsbeobachtungen. *Astron. Nachr.* **124**. *Nr. 2959. Sp. 105—108. 1890.*
7. Lewitzky, G.: Die systematischen Fehler bei den Durchgangsbeobachtungen. *Astron. Nachrichten* **125**. *Nr. 2981. Sp. 75—76. 1890.*
8. Zinger, N.: Über die persönlichen Fehler bei astronomischen Beobachtungen [Petersburg 1871]. [Nur russisch, angezogen nach 6 und 7.]
9. Gonnessiat, F.: *Recherches sur l'équation personnelle. Traveaux de l'Observatoire de Lyon.* [Lyon et Paris 1892.]
10. Gonnessiat, F.: In *Bull. astronomique* **6**. *S. 471. 1889.* (Nach G. Lewitzky [7]).
11. Großmann, E.: Über Schätzungen nach Augenmaß. *Astron. Nachr.* **170**. *Nr. 4066. Sp. 149 bis 162. 1905/6.*
12. Meißner, O.: Über systematische Fehler bei Zeit- und Raumgrößenschätzungen. *Astron. Nachr.* **172**. *Nr. 4113. Sp. 137—144. 1906.*
13. Czuber, E.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und ihre Anwendung auf Fehlerausgleichung, Statistik und Lebensversicherung, Leipzig 1903.
14. Lexis, W.: Zur Theorie der Massenerscheinungen in der menschlichen Gesellschaft, Freiburg i. Br. 1877.
15. v. Bortkewitsch, L.: Das Gesetz der kleinen Zahlen, Leipzig 1898.
16. Dormoy, E.: *Théorie mathémat. des assurances sur la vie,* Paris 1878.
17. Plaßmann, J.: Beitrag zur Psychologie der Beobachtungsfehler. S. A. aus der G. v. Hertling-Festschrift der Görresgesellschaft, Kempten und München 1913.

18. **Plaßmann, J.**: Beitrag zur Psychologie der Beobachtungsfehler. *Natur und Kultur* ***11.*** *S. 65—68. 1913.*
19. **Plaßmann, J.**: Säkulare Veränderlichkeit der Dezimalgleichung. *Astron. Nachr.* ***203.*** *Nr. 4871. Sp. 407—408. 1917.*
20. **Plaßmann, J.**: Säkulare Veränderlichkeit des Dezimalfehlers. *Zeitschr. f. Psychologie* ***77.*** *S. 111—117. 1916.*
21. **Busch, F.**, und **Jensen, Chr.**: Tatsachen und Theorien der atmosphärischen Polarisation, Hamburg 1911.
22. **Albrecht, S.**: *Personality in the estimation of tenths. Popular Astronomy [Northfield]* ***26.*** *S. 637. 1918.*
23. **Wislicenus, W. F.**, und **Cohn, F.**: Astronomischer Jahresbericht XX. 1918, Berlin und Leipzig 1920.
24. *Fortschr. d. Psychologie und ihrer Anwendungen* ***2.*** Leipzig und Berlin 1914.
25. **Schmidt, W.**: Schätzungsfehler bei Ablesungen meteorologischer Instrumente. *Diese Zeitschrift* ***36.*** *S. 169—183. 1916.*
26. **Hellmann, G.**: Psychologisch bedingte Fehler bei meteorologischen Beobachtungen. Sitzungsber. d. Königl. Preuß. Akad. d. Wiss. S. 283—294. 1913.
27. **Bauch, M.**: Beobachtungsfehler in der meteorologischen Praxis. *Fortschr. d. Psychologie und ihrer Anwendungen* ***2.*** *S. 246—253. 1914.*
28. **Lüdemann, K.**: Über regelmäßige Fehler bei Zehntelschätzungen. *Mitt. d. Vereinigg. v. Freunden der Astronomie und Kosm. Physik* ***26.*** *S. 1—11. 1916.*
29. **Fox, E.**: Über Beobachtungen an Theodoliten mit Schätzmikroskopen. *Mitt. a. d. Markscheidewesen. S. 1—15. 1916.*
30. **Reinhertz, C.**: Mitteilung einiger Beobachtungen über die Schätzungsgenauigkeit an Maßstäben, besonders an Nivellierskalen. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* ***24.*** *S. 6—11. 1895.*
31. **Volkmann, A. W.**: Über das Vermögen, die Größenverhältnisse zu schätzen. Berichte über die Verhandlungen der Königl. Sächs. Gesellsch. zu Leipzig. Math.-phys. Kl. S. 173. 1859.
32. **Kummer, G.**: Genauigkeit der Abschätzung mittelst Nivellierfernrohres. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* ***26.*** *S. 242—245, 257—263. 1897.*
33. **Kummer, G.**: Mitteilung von Beobachtungsergebnissen über die Schätzungs- und Kartierungsgenauigkeit an Maßstäben und Kartierungsinstrumenten. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* ***36.*** *S. 532—537, 565—572. 1907.*
34. **Labitzke, P.**: Experimentelle Untersuchungen über die Fehler bei Mitteneinstellungen, Göttingen 1914.
35. **Labitzke, P.**: Über Halbierungsfehler bei optischen Einstellungen. *Deutsche Opt. Wochenschrift S. 49—50. 1917.*
36. **Labitzke, P.**: Über die Fehler bei Mitteneinstellungen. *Astron. Nachr.* ***203.*** *Sp. 53—60 [Nr. 4852]. Sp. 163—164 [Nr. 4858].*
37. **Holm**: Augenmängel des Libellenlesers als Fehlerquellen im Feinnivellement und ihre Ausschaltung. *Zeitschr. f. Vermessungsw.* ***39.*** *S. 769—779, 801—811. 1910.*
38. **Harksen**: Das Präzisionsnivellement für den Stadtkreis Remscheid. *Zeitschr. f. Vermessungswesen* ***23.*** *S. 97—120. 1894.*
39. **Harksen**: Das Präzisionsnivellement für den Stadtkreis Remscheid. *Zeitschr. f. Vermessungswesen* ***24.*** *S. 361—371. 1895.*
40. **Labitzke, P.**: Die instrumentellen Hilfsmittel zur Beseitigung der persönlichen Fehler bei astronomischen Durchgangsbeobachtungen. *Deutsche Opt. Wochenschr. S. 378—381, 395 bis 398. 1917.*
41. **Wirth, W.**: Zur psychophysischen Analyse der **Repsold**schen Mikrometerregistrierung von Sterndurchgängen. *Psycholog. Studien* ***10.*** *Heft 1. 1915.*
42. **Plaßmann, J.**: Säkulare Veränderlichkeit des Dezimalfehlers. *Zeitschr. f. Psychologie* ***85.*** *S. 307—308. 1920.*
43. **Wundt, W.**: Grundzüge der physiologischen Psychologie II. 6. Auflage. Leipzig 1910.
44. **Kritzinger, H.**: Physiologisch-psychologische Fragen der astronomischen Beobachtungskunde. *Sirius* ***48.*** *S. 3—7, 35—39. 1915.*
45. **Marbe, K.**: Die Bedeutung der Psychologie für die übrigen Wissenschaften und die Praxis. *Fortschr. d. Psychologie und ihrer Anwendungen* ***1.*** *1913.*
46. **Noetzli, A.**: Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens mit Fernrohren, Zürich 1915.

Die Leistungsfähigkeit von Dauermagneten.

Von
Prof. Dr. J. Würschmidt in Essen.

Zur Darstellung des magnetischen Verhaltens eines ferromagnetischen Materials pflegt man bekanntlich seine Magnetisierungskurve anzugeben (vgl. Fig. 1). Bezeichnet man die „Feldstärke“ mit $\mathfrak{H}$ und die „Induktion“ mit $\mathfrak{B}$, so wächst, wenn man vom unmagnetischen Zustand ausgeht, die Induktion mit steigender Feldstärke zuerst langsam, dann rascher, dann wieder langsamer und langsamer; bei sehr großen Feldstärken endlich wächst die Induktion genau proportional der Feldstärke; dann hat die Magnetisierung, die durch $\mathfrak{J} = \frac{\mathfrak{B} - \mathfrak{H}}{4\pi}$ gemessen wird, ihren Sättigungswert erreicht. Läßt man umgekehrt die Feldstärke von hohen Werten an abnehmen, so bleibt die Induktion größer als beim Anstieg; für $\mathfrak{H} = 0$ zeigt der Körper noch eine positive Induktion vom Betrag $\mathfrak{B}_r$, die man als „wahre Remanenz“ bezeichnet, und erst bei einem negativen Felde $-\mathfrak{H}_c$ wird die Induktion gleich Null. Man nennt die Größe $\mathfrak{H}_c$ die Koerzitivkraft. Steigt die Feldstärke nun weiterhin nach der negativen Seite, so wächst die Induktion bald wieder langsamer, und bei der Rückkehr erhält man die entsprechende aufsteigende Kurve.

Fig. 1.

Die „wahre Remanenz“ ist somit die Induktion, wenn innerhalb des Magnetes das Feld Null herrscht. Dies ist bei einem vollkommen geschlossenen Ring dann der Fall, wenn auch das äußere, die Magnetisierung hervorrufende Feld gleich Null ist; bei einem nicht geschlossenen magnetischen System, etwa einem Stab- oder Hufeisenmagnet, entspricht jedoch infolge der entmagnetisierenden Wirkung der freien Enden dem äußeren Feld Null ein inneres negatives Feld, dessen Größe außer durch die Induktion selbst durch die Form des Magnetes bestimmt ist. Die bei diesem negativen inneren Feld, also dem äußeren Feld Null, in dem Magnet zurückbleibende Induktion bezeichnet man als die „scheinbare Remanenz“ ($\mathfrak{B}_s$); sie ist naturgemäß immer kleiner als die wahre Remanenz, und zwar wird die scheinbare Remanenz bei gleicher wahrer Remanenz umso niedriger werden, je geringer die Koerzitivkraft ist, je kürzer der Magnetstab ist, oder je kürzer die Schenkel des hufeisenförmigen Magnetes und je größer seine Maulweite[1]) ist.

Für die Beurteilung der „Leistungsfähigkeit“ eines Dauermagnetes ist die Kenntnis der Größe $\mathfrak{B}_s$ natürlich sehr wichtig, da sie die in dem Magnet tatsächlich zurückbleibende Induktion mißt; man hat deshalb Apparate gebaut (Hartmann & Braun, Siemens & Halske), um diese Größe in einfacher Weise zu messen. Doch können wir stets nur Magnete gleicher Form miteinander vergleichen, da nach den obigen Ausführungen die Neigung der Geraden $P\mathfrak{B}_s O$ (der sogenannten Entmagnetisierungslinie) gerade durch die Form bestimmt ist.

[1]) Vgl. E. Gumlich, Leitfaden der magnetischen Messungen. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn 1918. S. 204.

Betrachten wir zwei Magnetstahlsorten, die die gleiche wahre Remanenz ($\mathfrak{B}_r$), jedoch verschiedene Koerzitivkraft besitzen ($\mathfrak{H}_{c_1} > \mathfrak{H}_{c_2}$), so ergibt Fig. 2 unmittelbar, daß bei einer gegebenen Form, d. h. einer gegebenen Entmagnetisierungslinie *PO* $\mathfrak{B}_1$ größer als $\mathfrak{B}_2$ ist; die scheinbare Remanenz ist also bei gleicher wahrer Remanenz um so größer, je größer die Koerzitivkraft ist. In gleicher Weise läßt sich zeigen, daß sie bei gleicher Koerzitivkraft um so größer ist, je größer die wahre Remanenz ist. Man hat deshalb als Maß der „Leistungsfähigkeit" eines Dauermagnetes das Produkt aus wahrer Remanenz und Koerzitivkraft eingeführt und gibt z. B. an, daß für Kohlenstoffstähle verschiedener Zusammensetzung und Wärmebehandlung dieses Produkt zwischen $27 \cdot 10^3$ und $487 \cdot 10^3$, für gute Wolfram- und Chromstähle zwischen $600 \cdot 10^3$ und $700 \cdot 10^3$, für Kobaltstähle zwischen $1200 \cdot 10^3$ und $1800 \cdot 10^3$, ja noch größer ist.

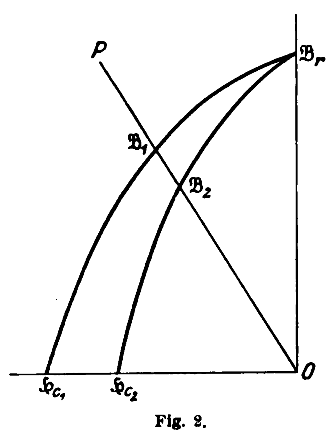


Fig. 2.

Zur Angabe dieser Größe $L = \mathfrak{H}_c \cdot \mathfrak{B}_r$ ist somit die Kenntnis beider Faktoren erforderlich; während $\mathfrak{H}_c$ in einfacher Weise bestimmt werden kann[1]), muß zur Bestimmung von $\mathfrak{B}_r$ der absteigende Ast der Magnetisierungskurve punktweise aufgenommen werden. Dies kann entweder nach einer der bekannten Methoden, etwa mittels des Koepsel-Kathschen Magnetisierungsapparates, geschehen oder auch an dem oben erwähnten Hartmann & Braunschen Magnetisierungsapparat nach einer von dem Verfasser ausgearbeiteten Methode[2]).

Daß aber auch die Kenntnis der Größe *L* noch kein eindeutiges Maß für die Leistungsfähigkeit eines Magnetes zu bieten vermag, möge folgendes Beispiel erläutern (Fig. 3). Es seien zwei Magnetstahlsorten gegeben, für die *L* die gleiche Größe hat; es sei jedoch $\mathfrak{B}_{r_1} > \mathfrak{B}_{r_2}$ und $\mathfrak{H}_{c_1} < \mathfrak{H}_{c_2}$. Je nach der Form der beiden Magnete, d. h. je nach der Lage der Entmagnetisierungslinie ist dann die scheinbare Remanenz der ersten Probe größer, gleich oder kleiner als die der zweiten Probe: für die Entmagnetisierungslinie PO ist $\mathfrak{B}_1 > \mathfrak{B}_2$, für $P'O$ ist $\mathfrak{B}_1' = \mathfrak{B}_2'$, endlich für $P''O$ ist $\mathfrak{B}_1'' < \mathfrak{B}_2''$. Dieser Fall wurde z. B. an zwei Chromstählen mit verschiedenem Chromgehalt, die von verschiedenen Temperaturen aus gehärtet waren, beobachtet. Man würde also aus der Bestimmung von *L* auf die gleiche Leistungsfähigkeit schließen, während die Messung der scheinbaren Remanenz je nach der Form des Magnetes verschiedene Resultate ergibt. Je nach der Form, die man dem Dauermagneten zu geben wünscht, wird man bei gleicher Leistungsfähigkeit *L* die eine oder andere der beiden Sorten vorziehen. Man muß also für die betreffende Magnetform die Neigung der Entmagnetisierungslinie kennen. Am einfachsten ist deren Berechnung für Proben, die entweder die Form eines Ellipsoids oder eines Kreiszylinders haben.

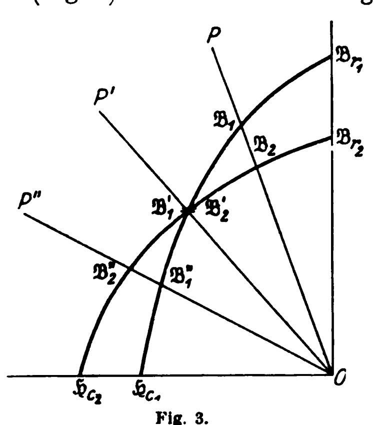


Fig. 3.

---

[1]) Vgl. J. Würschmidt, Die magnetische Prüfung von Dauermagneten. *Kruppsche Monatshefte* **3.** *S. 205—209. 1922.*

[2]) J. Würschmidt, Zur Theorie der reversiblen Permeabilität. *Zeitschr. f. Physik* **9.** *S. 379 bis 394. 1922,* und Die magnetische Prüfung von Dauermagneten. *Ebenda* **10.** *S. 91—110. 1922.*

Bezeichnet man die in dem Magnetstab herrschende Feldstärke mit $\mathfrak{H}$, wie oben, die äußere Feldstärke mit $\mathfrak{H}'$ und die Induktion mit $\mathfrak{B}$, so ist angenähert

$$\mathfrak{H} = \mathfrak{H}' - \frac{N}{4\pi}\mathfrak{B}\ ^{1)},$$

wobei man N als den Entmagnetisierungsfaktor bezeichnet, der für ellipsoidische Proben genau und für kreiszylindrische Stäbe angenähert bekannt ist.

Also ist für $\mathfrak{H}' = 0$, $\mathfrak{H} = -\frac{N}{4\pi}\mathfrak{B}$ oder in dem Dreieck $OA\mathfrak{B}_s$ (Fig. 1), in dem $AO = \mathfrak{H}$, $A\mathfrak{B}_s = \mathfrak{B}$ ist, gilt

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{AO}{A\mathfrak{B}_s} = \frac{\mathfrak{H}}{\mathfrak{B}} = \frac{N}{4\pi}.$$

Aus den Tabellen für N brauchen wir also nur $\frac{N}{4\pi}$ zu berechnen und hieraus $\operatorname{tg}\alpha$ zu bestimmen. Da aber $\mathfrak{B}$ und $\mathfrak{H}$ meist in ganz verschiedenem Maßstabe in der Magnetisierungskurve eingezeichnet werden, empfiehlt es sich, gleich die richtigen Entmagnetisierungslinien in das Koordinatensystem in der Weise einzutragen, daß man von $\mathfrak{B} = 10\,000$ nach links die Werte $\frac{N}{4\pi} \cdot 10\,000 = \nu$ aufträgt und die erhaltenen Punkte mit dem Anfangspunkt verbindet. In Fig. 4 sind die Entmagnetisierungslinien für Ellipsoide (ausgezogen) und zylindrische Stäbe (punktiert) eingezeichnet, die folgende Tabelle enthält die zur Zeichnung benutzten Werte von ν für ellipsoidische und zylindrische Stäbe; unter dem Dimensionsverhältnis p ist das Verhältnis der großen zur kleinen Achse beim Ellipsoid und das Verhältnis von Länge zu Durchmesser beim Kreiszylinder verstanden[2]).

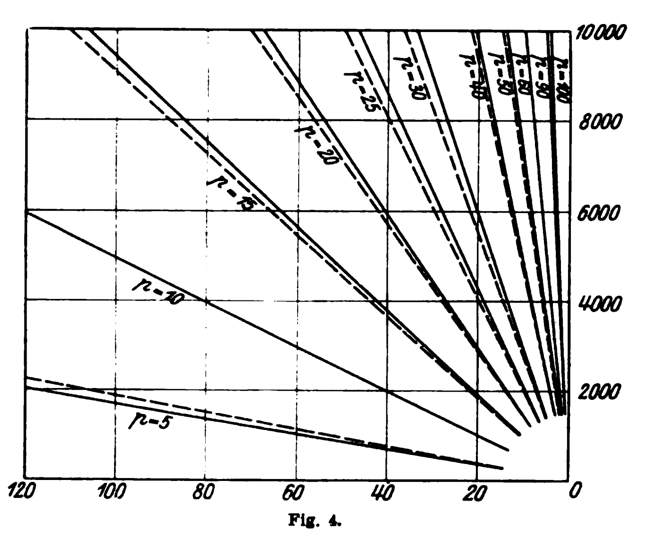


Fig. 4.

Ist der Querschnitt der Probe nicht kreisförmig, sondern beispielsweise rechteckig, so läßt sich über die Größe des Entmagnetisierungsfaktors im allgemeinen wenig aussagen. Sicher ist zunächst, daß er zwischen den beiden Werten von p liegt, die man erhält, wenn man p einmal mit der größeren Seite a, denn mit der kleineren Seite b des Querschnittrechteckes berechnet. So untersuchte der Verfasser eine Probe Wolframstahl von den Abmessungen $a = 2{,}3$, $b = 1{,}1$, $l = 10{,}0$[3]); es war demnach zu erwarten, daß r zwischen dem Werte $\nu_1 =$ ca. 700, der sich für $p_1 = \frac{l}{a}$ durch

[1]) E. Gumlich, a. a. O., S. 8.

[2]) Die Werte von N für den Kreiszylinder sind der bei Gumlich wiedergegebenen Tabelle von C. R. Mann (*Diss. Berlin 1895*) entnommen, auf die von C. Benedicks (*Ann. d. Phys.* **6.** *S. 726—740. 1901*) beobachteten Abweichungen, sowie auf die Frage der Abhängigkeit des Entmagnetisierungsfaktors von Feldstärke und Material wurde hier keine Rücksicht genommen, da es sich nur um die Größenordnung handelt.

[3]) Vgl. *Kruppsche Monatshefte*, a. a. O. *S. 208, Fig. 4.*

p	$\nu_{Ellipsoid}$	$\nu_{Kreiszylinder}$
5	559	541
10	203	203
15	107	111
20	68	71
25	47	50
30	34	37
40	21	22
50	14	15
60	10	10
70	8,0	7,9
80	6,4	6,2
90	5,2	5,0
100	4,3	4,1
150	2,1	2,0
200	1,3	1,2
300	0,65	0,67

Extrapolation aus der $p - \nu$-Kurve ergibt, und dem Werte $\nu = 180$ für $p_2 = \frac{l}{b}$ liegen würde. Aus der Magnetisierungskurve und dem Werte der scheinbaren Remanenz für die betreffende Probe ließ sich tatsächlich $\nu = 328$ berechnen. Für einen kreiszylindrischen Stab mit gleichem Querschnitt $ab = 2{,}53$, wie ihn der rechteckige Stab hat, also mit einem Radius von 1,8, ergäbe sich $\nu =$ ca. 420, also ein bedeutend höherer Wert.

Über eine Methode zur Bestimmung des Entmagnetisierungsfaktors, die sich auf beliebige Querschnitte anwenden läßt, wird der Verfasser demnächst in der Zeitschrift für Physik berichten.

Für Hufeisenmagnete endlich läßt sich die Größe des Entmagnetisierungsfaktors nur in roher Annäherung angeben, vgl. hierzu die Ausführungen bei Gumlich, a. a. O. S. 113—114. Wenn wir den Hufeisenmagneten durch einen geschlitzten Kreisring ersetzt denken, dessen Achsenlänge l und dessen Luftspalt λ ist, so folgt aus der Theorie des geschlitzten magnetischen Kreisringes[1])

$$\frac{N}{4\pi} = \frac{\lambda}{l + \lambda},$$

oder, wenn λ klein gegen l ist, angenähert

$$\frac{N}{4\pi} = \frac{\lambda}{l}.$$

Also ist die oben angeführte Größe

$$\nu = \frac{N}{4\pi} \cdot 10000 = \frac{\lambda}{l + \lambda} \cdot 10000.$$

Demnach beträgt z. B. für eine Achsenlänge $l = 10$ cm und eine Schlitzbreite $\lambda = 0{,}2$ cm $\nu = 196$, ist also von gleicher Größe wie bei einem Kreiszylinder von der Länge 10 cm und dem Durchmesser 1 cm.

Obige Formel gilt jedoch streng nur für eine im Verhältnis zur Achsenlänge und auch zum Durchmesser des Querschnittes sehr kleine Schlitzbreite[2]). Es ist

[1]) Vgl. J. Würschmidt, *Zeitschr. f. Physik* **9**. *S. 380. 1922*, oder *Handwörterb. d. Naturw.* **6**. *S. 570. 1912.*

[2]) H. du Bois, *Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Ges.* **9**. *S. 84. 1890.*

wahrscheinlich, daß bei geringem Durchmesser des Querschnittes mit zunehmender Schlitzbreite der Entmagnetisierungsfaktor ein Maximum erreicht, um dann wieder abzunehmen und im Grenzfalle des gestreckten Stabes den für diesen gültigen Grenzwert zu erreichen; eine Berechnung scheint jedoch kaum möglich zu sein.

Vor allem ist zu bedenken, daß bei endlicher Schlitzbreite der Übergang der Kraftlinien durchaus nicht nur innerhalb des Schlitzes erfolgt; der Querschnitt des Luftspaltes ist folglich nicht gleich, sondern wohl bedeutend größer als derjenige des Eisenkörpers, und ν verkleinert sich nach der Theorie noch im Verhältnis dieser Querschnitte.

Beim Hufeisenmagnet spielt dieser Umstand in erhöhtem Maß mit, so daß die obige Formel sicher nur einen oberen Grenzwert für ν angibt. Allerdings gilt auch hier der Satz, daß anfangs der Entmagnetisierungsfaktor mit zunehmender Schlitzbreite = Maulweite des Magnetes zunehmen wird.

Man wird somit für Hufeisenmagnete mit kleiner Maulweite z. B. von den oben erwähnten zwei Stahlsorten mit gleicher Leistungsfähigkeit L demjenigen mit der größeren Remanenz den Vorzug geben, für einen weit geöffneten Hufeisenmagneten dagegen den mit größerer Koerzitivkraft, um die Höchstwerte für die scheinbare Remanenz zu erhalten.

Handelt es sich nicht um die scheinbare Remanenz, d. h. um die Zahl der in dem Dauermagneten verlaufenden Kraftlinien und damit um die Stärke des magnetischen Feldes, das er erzeugen kann, sondern um seine Tragkraft, so sind die Verhältnisse noch verwickelter. Denn für die Tragkraft ist nicht die scheinbare Remanenz bestimmend, sondern die Remanenz, die dann vorhanden ist, wenn der Hufeisenmagnet durch den Anker geschlossen ist. Durch den Schluß des Magneten steigt, auch abgesehen von etwaigem remanenten Magnetismus des Ankers, die Induktion wieder an, und zwar auf einer „inneren" Magnetisierungskurve. Wie hoch der erreichte Induktionswert ist, hängt nun außer von der vorherigen scheinbaren Remanenz von dem Anstieg dieser inneren, fast geradlinig verlaufenden Magnetisierungskurve, das heißt von der sogenannten reversiblen Permeabilität ab. Um die Verhältnisse deutlich zu machen, betrachten wir (Fig. 5) 2 Stahlsorten mit gleicher wahrer Remanenz, aber verschiedener Koerzitivkraft, z. B. einen Kobaltstahl (1) und einen Wolframstahl (2). Die Abmessungen der Magnete seien die gleichen, somit die Neigungen der Geraden $P_1 O$ und $P_2 O$ die gleichen. Die scheinbare Remanenz ist dann für den Wolframstahl ($\mathfrak{B}_{s_2}$) kleiner als für den Kobaltstahl ($\mathfrak{B}_{s_1}$). Wird nun jeder Magnet durch einen Anker geschlossen, so steigt die Induktion bei (1) bis $\mathfrak{B}_{t_1}$, bei (2) bis $\mathfrak{B}_{t_2}$. Wie man sieht, kommt es nun ganz auf den Anstieg der inneren Magnetisierungskurve an, welche Werte für $\mathfrak{B}_t$ erreicht werden. In unserem Beispiel ist der Anstieg für (1) bedeutend kleiner als für (2) entsprechend früheren Beobachtungen des Verfassers; so war (die reversible Permeabilität) μ für Wolframstahl = 35,0, für Kobaltstahl dagegen zwischen 11 und 13. So ist es möglich, daß die Induktion $\mathfrak{B}$

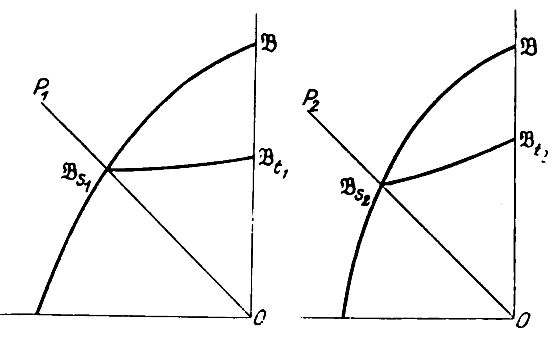


Fig. 5.

und damit auch die Tragkraft für einen nach der gewöhnlichen Definition „leistungsfähigeren“ Dauermagnet doch nicht entsprechend größer, ja sogar geringer ist als bei dem weniger leistungsfähigen.

Dieser Hinweis möge genügen, ohne auf die mannigfachen Theorien und Versuche über den Zusammenhang zwischen Induktion und Tragkraft näher einzugehen.

Zusammenfassung.

1. Die „Leistungsfähigkeit“ eines Dauermagnetes kann entweder durch die scheinbare Remanenz oder durch das Produkt aus wahrer Remanenz und Koerzitivkraft gemessen werden.

2. Die bei einer bestimmten Form des Magnetes gemessene scheinbare Remanenz gibt jedoch noch keinen Anhaltspunkt für die bei anderen Formen bestehende scheinbare Remanenz.

3. Hierzu ist Kenntnis nicht nur von Koerzitivkraft und wahrer Remanenz, sondern auch des zwischen diesen beiden Punkten liegenden Teiles der Magnetisierungskurve des betreffenden Stoffes nötig; ferner muß der Entmagnetisierungsfaktor bekannt sein.

4. Der Entmagnetisierungsfaktor kann bisher nur für ellipsoidische Stäbe genau und für kreiszylindrische Stäbe einigermaßen genau angegeben werden. Für gerade Stäbe anderen Querschnittes sowie für Hufeisenmagnete müssen erst experimentelle Messungen angestellt werden.

5. Auf die Tragkraft eines Dauermagnetes ist außer den genannten Größen auch die reversible Permeabilität von Einfluß.

Zerstreuung und Helligkeit von geradsichtigen Prismen.

Von

Prof. Dr. D. **Hugo Krüss** in Hamburg.

Einleitung.

Bekanntlich kann man die brechenden Winkel zweier Prismen aus verschiedenen Glasarten, die mit entgegengesetzten Kanten hintereinander gelegt werden, so wählen, daß sie zusammen einen Lichtstrahl von bestimmter Wellenlänge nicht ablenken, daß aber Strahlen anderer Wellenlänge entsprechend abgelenkt werden, also noch eine Zerstreuung des weißen Lichtes erfolgt.

Der Optiker Amici in Florenz scheint der erste gewesen zu sein, welcher solche geradsichtigen Prismen zu spektroskopischen Zwecken benutzte. Er setzte sein dreifaches, aus einem Flintglasprisma von 90 Grad und zwei Kronglasprismen mit dem erforderlichen Brechungswinkel zusammen, indem er das Flintglasprisma zwischen die beiden Kronglasprismen einkittete, so daß das Ganze ein zylindrisches Stück bildete.

Der französische Astronom Janssen ist der erste, von dem die Konstruktion eines Spektroskopes mit Kollimator und Beobachtungsfernrohr bekannt ist[1]). Er ließ es durch den Optiker Hofmann in Paris herstellen, das Instrument ist als Spektroskop nach Janssen-Hofmann bekannt geworden. Janssen benutzte zur Erzielung einer größeren Zerstreuung, also eines längeren Spektrums an Stelle des von Amici angegebenen dreifachen Prismas ein fünffaches, bei welchem die mittleren drei Prismen (ein Kron- und zwei Flintglasprismen) Brechungswinkel von 90 Grad, die beiden End-

[1]) *Compt. Rend.* **55**. *S. 576. 1863; Pogg. Ann.* **118**. *S. 452. 1863.*

prismen aus Kronglas die zur Herbeiführung der geraden Durchsicht erforderlichen Brechungswinkel besaßen.

Der Optiker John Browning in London benutzte die Eigenschaft der geraden Durchsicht solcher Prismen zur Konstruktion der nach ihm benannten kleinen Taschenspektroskope, in welchen durch eine Lupe mit vorgesetzten Prismen der Eintrittsspalt eingestellt wird. Diese Spektroskope sind wegen ihrer Handlichkeit und die Möglichkeit, die Lichtquelle, deren Spektrum man zu sehen wünscht, direkt anzuvisieren, sehr verbreitet, auch in der Astrophysik werden sie als Sternspektroskope benutzt.

Es ist nun die Frage aufgetaucht, ob es vorteilhafter sei, dreifache oder fünffache Prismen zu verwenden, wobei einerseits die Größe der Dispersion, andererseits der Lichtverlust bei dem Durchgang der Strahlen im Prisma zu berücksichtigen ist, endlich auch noch der Preis. Man findet in dieser Beziehung die widersprechendsten Angaben. So wird in Preislisten verschiedener Fabrikanten angegeben, daß die Dispersion des dreifachen geradsichtigen Prismas gleich derjenigen des fünffachen, nämlich von $C - F$ 5^0 $30'$ sei, daß aber die Menge des durch Reflexion an den Flächen verloren gehenden Lichtes beim fünffachen Prisma geringer sei, weil alle Einfallswinkel etwas kleiner sind. Danach hat es den Anschein, als wenn das fünffache Prisma einen geringeren Lichtverlust aufweist als das dreifache. An anderer Stelle wird wegen der in keinem Verhältnis zu der gegenüber dem dreifachen Prisma erzielten Dispersionssteigerung stehenden Mehrkosten das fünfteilige Prisma nicht empfohlen. In Kaysers „Spektralanalyse" heißt es, daß man durch die größere Anzahl von Prismen ziemlich viel mehr Licht durch Absorption und Reflexion verliere.

Diese sich zum Teil widersprechenden Angaben bieten wohl Veranlassung, die Sache einmal systematisch zu untersuchen. Die Behauptung, daß die Dispersion der fünffachen Prismen nicht größer sei als diejenige der dreifachen, läßt vermuten, daß hierbei eigentlich nicht vergleichbare verschiedene Konstruktionen der beiden Prismenarten zugrunde gelegt sind.

Bei der vorzunehmenden Untersuchung muß man sich zuerst darüber entscheiden, welche Wellenlänge der durch das geradsichtige Prisma hindurchgehende Strahl haben soll, der, ohne Ablenkung zu erfahren, das Prisma durchsetzt, so daß also der eintretende und der austretende Strahl beide parallel zur Längsachse des Prismas verlaufen. Während Janssen[1]) schon bemerkte, daß die gerade Durchsicht für den grünen als dem mittleren Strahl stattfinden solle und Konkoly[2]) gerade Durchsicht für die der Fraunhoferschen Linie E entsprechende Wellenlänge empfiehlt, sind in früherer Zeit diese Prismen vielfach mit gerader Durchsicht für die Natriumlinie D hergestellt worden, weil einerseits in den Verzeichnissen optischer Gläser der Brechungsindex für D als charakteristisch für die Brechkraft angeführt wird und andererseits diese Linie am leichtesten von allen Linien des Spektrums durch die Kochsalzflamme dargestellt werden kann. In neuerer Zeit findet man die Geradsichtigkeit der Prismen für die Linie $F (\lambda = 486\ \mu\mu)$ als die Mitte des Spektrums, und in der Tat scheint die Mitte des Spektrums sich am meisten für die Geradsicht zu empfehlen.

Bei den kleinen Taschenspektroskopen spielt diese Frage keine große Rolle, denn hier wird der Eintrittsspalt nur durch eine dem gradsichtigen Prisma eingesetzte Lupe betrachtet und das Auge empfängt den ganzen Fächer des Spektrums, auch

---

[1]) a. a. O.

[2]) Handbuch für Spektroskopiker S. 164. Halle 1890.

wenn er nicht symmetrisch zur optischen Achse des Prismas ist. Anders liegt es bei dem Spektroskop nach **Janssen-Hofmann** (Fig. 1). Hier werden die auf den Spalt S fallenden, durch das Kollimatorobjektiv K parallel gemachten und durch das Prisma P zerstreuten Strahlen im Gesichtsfelde des mit Fadenkreuz versehenen Beobachtungsfernrohres B beobachtet. Zur Bestimmung der Lage der Linien oder der Absorptionsstreifen im Spektrum ist das Beobachtungsrohr B um einen Punkt C drehbar, die Drehung kann von einem mit Teilung versehenen Kreisbogen T abgelesen werden. Da ist es nicht nur aus Schönheitsrücksichten erforderlich, daß das Spektrum nicht ganz einseitig liegt, wie es der Fall sein würde, wenn das Prisma für die Linie D geradsichtig ist, sondern möglichst symmetrisch zur optischen Achse des Instruments, so daß also das Prisma geradsichtig für die Mitte des Spektrums ist. Es fragt sich nun, wo die Mitte des sichtbaren Spektrums zu suchen ist.

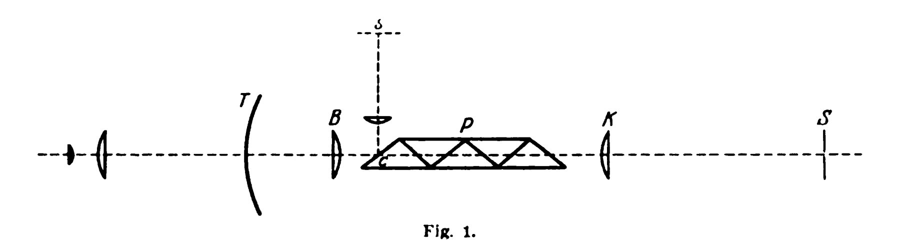


Fig. 1.

Es wird wohl die Annahme kaum einen Widerspruch finden, wenn man das sichtbare Spektrum in Rot von der Linie A ($\lambda = 762\,\mu\mu$), in Violett von der Linie H_2 ($\lambda = 387\,\mu\mu$) begrenzt hinstellt, denn viel über diese Linien hinaus hat das Auge keine Lichtempfindung mehr. Es wird allerdings z. B. in dem Lehrbuch von *Müller-Pouillet* auf der Tafel des Sonnenspektrums am roten Ende die Wellenlänge $\lambda = 811$, am violetten die Wellenlänge $\lambda = 328$ als Grenze der Sichtbarkeit in einem von einem Flintglasprisma mit einem brechenden Winkel von 60 Grad erzeugten Spektrum angesehen. Die über A und H hinausreichenden Bezirke sind aber nur schmal, so daß man getrost diese beiden sich noch deutlich im Spektrum markierenden Linien A und H_2 als Enden des Spektrums annehmen kann.

Nun fragt es sich, wo die Mitte des Spektrums zwischen den Linien A und H_2 sich befindet. Manche Tafeln des Sonnenspektrums sind so dargestellt, daß eine gleichmäßig geteilte Wellenlängenteilung den Einzeichnungen der *Fraunhofer*schen Linien zugrunde gelegt ist. Daraus ergibt sich selbstverständlich die Mitte des Spektrums für diejenige Wellenlänge, welche das Mittel der Wellenlängen von A und H_2 ist, nämlich für $\lambda = 576$. Das ist eine Stelle im Spektrum, die 20 v. H. des Abstandes der Linien D und E voneinander ($D\,20\,E$) liegt. Das ist für alle durch Brechung erzeugte Spektren nicht dessen Mitte, weil bei der Brechung die Zerstreuung nicht proportional der Wellenlänge ist, sondern gegen das brechbare Ende hin bedeutend stärker wächst. Also wird hier auch die Mitte des Spektrums weiter nach dem violetten Ende liegen.

Die Mitte hat aber nicht eine konstante Lage, sie ist vielmehr verschieden bei verschiedenen Prismenkonstruktionen. Bei Erzeugung des Spektrums durch ein Flintglasprisma von 60 Grad, welches den Darstellungen in den Lehrbüchern augenscheinlich zugrunde gelegt ist, liegt die Mitte des Spektrums nahe der **Fraunhofer**schen Linie F ($\lambda = 486$). Bei dem Flintglasprisma, welches ich einer früheren Arbeit über

den Lichtverlust in Prismen[1]) zugrunde legte und wo die Brechungsverhältnisse für A bzw. H 1,6391 bzw. 1,6886 waren, liegt die Mitte des Spektrums, wenn das Prisma fest für das Minimum der Ablenkung der Linie D aufgestellt ist, bei $\lambda = 484$, dagegen bei Drehung des Prismas derart, daß jede beobachtete Linie sich im Minimum der Ablenkung befindet, bei $\lambda = 487$. Im ersteren Falle also etwas über F hinaus nach dem blauen Ende, im zweiten Falle dagegen etwas vor der Linie F, da bei fester Aufstellung des Prismas im Minimum der Ablenkung für D eine stärkere Zerstreuung des brechbareren Endes des Spektrums stattfindet als im zweiten Fall. Der Unterschied ist allerdings nur sehr gering, und man kann hier unbedenklich die Linie F als in der Mitte des Spektrums zwischen den Linien A und H_2 liegend annehmen. Der vorhandene Unterschied zeigt aber schon, daß die Lage der Mitte doch abhängig ist von der Art, wie das Spektrum erzeugt wird.

Hier kommt es nun darauf an, wie die Sache bei den geradsichtigen Prismen liegt. Auch hier wird die Konstruktion der Prismen einen Einfluß üben, und ferner der Umstand, für welche Wellenlänge das Prisma geradsichtig ist. Als Beispiele mögen die geradsichtigen drei- und fünffachen Prismen dienen, die den nachfolgenden vergleichenden Betrachtungen zugrunde gelegt werden. Diese Prismen sind aus einem gleich zu erörternden Grunde für die Fraunhofersche Linie b geradsichtig konstruiert. Es ergibt sich für die Mitte des Spektrums zwischen A und H_2

bei Prisma	*I*	3fach	$\lambda = 496$	(b 66 F),
„ „	*II*	3 „	$\lambda = 505$	(b 20 F),
„ „	*III*	5 „	$\lambda = 498$	(b 56 F),
„ „	*IV*	5 „	$\lambda = 492$	(b 30 F).

Würden die Prismen für die Linie F geradsichtig konstruiert worden sein, so würden sich die vorstehenden Zahlen nur wenig ändern, es würde z. B. beim Prisma *I* die Mitte bei $\lambda = 499$ (b 50 F) liegen.

Man sieht, daß bei den geradsichtigen Prismen die Mitte des Spektrums mehr oder weniger weit von der Linie F entfernt nach dem roten Ende des Spektrums zu liegt. Es war aber nicht dieser mehr nebensächliche Grund, weshalb ich die geradsichtigen Prismen nicht für die Linie F, sondern für die Linie b geradsichtig konstruierte. Einmal komme ich dadurch dem optischen Schwerpunkt des Spektrums, der bekanntlich im Grüngelb liegt, näher, und sodann geben sehr viele Spektroskope mit gerader Durchsicht nur ein von A bis etwas über G reichendes Spektrum, der violette Teil fehlt ganz, weil dieser durch die häufig verwendeten schwereren, etwas grünlich gefärbten Flintglasarten absorbiert wird, außerdem sind die violetten Strahlen des Sonnenlichtes und der ein kontinuierliches Spektrum erzeugenden Lichtquellen an sich verhältnismäßig schwach. Man kann allerdings, wenn auch auf Kosten der Dispersion, weniger gefärbte Flintglasarten verwenden und Linienspektren können auch in Violett eine große Intensität haben. Aber es schienen mir doch die Gründe für die Wahl der Linie b als geradsichtig das Prisma durchtretender Strahl überwiegend zu sein. Es mag dabei von vornherein hervorgehoben werden, daß die im folgenden gegebenen Beispiele auch für Prismen mit einer Geradsicht für die Linie F volle Geltung haben, denn die sämtlichen Brechungswinkel und damit die Zerstreuung sind nur wenig anders. So ist z. B. die Gesamtzerstreuung des Prismas *I* von $A - H_2$, wenn man es für Geradsichtigkeit der Linie b berechnet, $5^0\ 47'$, bei Zugrundelegung der Linie F dagegen $5^0\ 46'$.

[1]) *Diese Zeitschr.* **5.** *S. 184. 1885.*

Die Zerstreuung geradsichtiger Prismen.

Nach diesen etwas umfangreichen, aber für die Gründlichkeit der Untersuchung notwendigen einleitenden Bemerkungen kann in die Frage eingetreten werden, wie es mit der Dispersion und der Lichtdurchlässigkeit geradsichtiger Prismen steht, und ob derartige Prismen besser dreifach oder fünffach sein sollen. Dabei ist von vornherein hervorzuheben, daß nur immer solche Prismen miteinander verglichen werden sollten, die auf dem gleichen Konstruktionsprinzip beruhen. Als erstes bietet sich selbstverständlich die ursprüngliche Vorschrift Amicis bzw. diejenige von Janssen dar, daß beim dreifachen Prisma das mittlere Flintglasprisma, bei dem fünffachen das mittlere Kronglas- und die beiderseits daran liegenden Flintglasprismen brechende Winkel von 90^0 besitzen, während die beiden Endkronglasprismen gleiche brechende Winkel haben, die so zu bemessen sind, daß der der Fraunhoferschen Linie b entsprechende, parallel der Längsachse des Prismas auf dieser einfallende Strahl auch wieder parallel dieser Achse austritt, zu welchem Zwecke er das Gesamtprisma vollkommen symmetrisch durchläuft, und zwar im mittleren Prisma wieder parallel zur Achse.

Als Glasarten wählte ich, da sie zu den geradsichtigen Prismen vielfach benutzt werden, aus der Schottschen Liste das Kronglas O 144 und das Flintglas O 113. Die Brechungsverhältnisse für diese beiden sind für die in Betracht kommenden Fraunhoferschen Linien:

Linie	Krone O 144	Flint O 113
A	1,5048	1,7218
C	1,5076	1,7298
b	1,5134	1,7484
F	1,5156	1,7558
G	1,5200	1,7721
H_2	1,5236	1,7868.

Die Brechungswinkel, welche den beiden Endkronprismen gegeben werden müssen damit das ganze Prisma für die Linie b geradsichtig sei, sind für das dreifache Prisma 72^0 35′, für das fünffache 97^0 45′. Die Form dieser beiden Prismen ist in Fig. 2 unter I und II dargestellt.

Als Maß der Zerstreuung wird in der Literatur vielfach die Winkelabweichung der aus dem Prisma austretenden Strahlen $C-F$ voneinander angegeben. Es mag das daran liegen, daß in den Tabellen der Fabriken optischen Glases der Unterschied der Brechungsverhältnisse für die Linien C und F als mittlere Zerstreuung angeführt ist, und weil die Strecke zwischen diesen beiden Linien den optisch hellsten Teil des Spektrums umfaßt. Es ergibt sich nun als Zerstreuung der beiden Prismen

Raum	Prisma I	Prisma II
$C-F$	2^0 12′	7^0 15′
$A-H_2$	5^0 46′	20^0 32′.

Während die Zerstreuung des fünffachen Prismas zwischen C und F 3,30mal so groß ist als die des dreifachen, beträgt sie für die Länge des ganzen Spektrums von $A-H$ das 3,56fache, da infolge der größeren Brechungswinkel die weiter von der Mitte abliegenden Strahlen verhältnismäßig stärker gebrochen werden als die mittleren Strahlen.

Was von vornherein zu erwarten war, zeigen die Rechnungsergebnisse überzeugend, daß nämlich das fünffache Prisma eine weit größere Zerstreuung besitzt

als das dreifache, wenn die brechenden Winkel der inneren Prismen die gleichen sind. Es ist also falsch, allgemein zu behaupten, daß ein fünffaches geradsichtiges Prisma keine größere Zerstreuung ergibt als ein dreifaches. Man wird demgemäß, wenn man eine größere Zerstreuung haben will, mit Vorteil solche fünffachen Prismen anstatt der dreifachen verwenden.

Dieses trifft ohne weiteres zu bei den einfachen Taschenspektroskopen und bei den Sternspektroskopen. Etwas anderes liegt die Sache bei den Spektroskopen nach Janssen-Hofmann (Fig. 1), wo ein Kollimator und ein Beobachtungsrohr benutzt wird. Hier hängt die Länge des Spektrums im Gesichtsfeld nicht nur von dem Winkelwert der Zerstreuung ab, sondern auch von der Länge der Brennweite des Objektives des Beobachtungsrohres. Man kann hier mit einem Prisma geringerer Zerstreuung dieselbe Länge des Spektrums erreichen, wenn man ein Objektiv mit längerer Brennweite verwendet. Hier kommt noch ein anderer Umstand hinzu, der Veranlassung geben kann, die geradsichtigen Prismen anders zu konstruieren. Es ist nämlich das Instrument mit einem Skalenrohr versehen. Das Bild der photographischen Skala s — eine gleichmäßig geteilte oder eine Wellenlängenteilung — wird wie bei dem Spektralapparat nach Kirchhoff und Bunsen an der letzten Fläche des Prismas reflektiert und gelangt so mit dem Spektrum zur Abbildung im Gesichtsfelde des Beobachtungsrohres. Da ist es denn aus Schönheitsrücksichten und auch wegen der leichteren Herstellung erwünscht, daß das Skalenrohr senkrecht zur Achse des Hauptrohres angebracht ist. Dazu muß die letzte Fläche des Prismas unter 45 Grad gegen die Längsachse des geradsichtigen Prismas stehen. Man findet allerdings häufig schief angesetzte Skalenrohre. Bei geringer Abweichung der Prismenfläche von 45 Grad kann man das Skalenrohr wohl senkrecht an das Hauptrohr setzen und die Skala selbst etwas seitlich verschieben oder auch das Prisma etwas neigen. Ein anderes Mittel, um ein senkrecht angebrachtes Skalenrohr benutzen zu können, ist, das Bild der Skala nicht an der letzten Prismenfläche reflektieren zu lassen, sondern von einer zwischen Prisma und Objektiv unter 45 Grad gegen die Achse geneigten planparallelen Glasplatte.

Bei den beiden bisher betrachteten geradsichtigen Prismen ist nun die Neigung der Endfläche gegen die Längsachse des Prismas, der Winkel β, $62^0\ 25'$ beim dreifachen und $37^0\ 15'$ beim fünffachen Prisma. Ein rechtwinkliges Ansetzen des Skalenrohres ist hier also unmöglich. Die für diesen Zweck geeigneten geradsichtigen Prismen müssen also der Bedingung genügen, daß $\beta = 45$ Grad ist. Das kann auf zwei Wegen erreicht werden. Man kann dem Brechungswinkel der inneren Prismen wie bisher 90 Grad geben, dann muß der Brechungswinkel α des Eintrittsprismas entsprechend verändert werden. Das empfiehlt sich aus Gründen der Herstellung schon nicht, da sie durch die nun verschiedenen beiden Außenprismen verteuert wird. Will man das nicht, so muß der Brechungswinkel der inneren Prismen entsprechend verändert werden, dabei bleibt das Gesamtprisma symmetrisch. Dieser Weg wird denn auch allgemein gewählt.

Betrachtet man die Fig. 2, I und II, so sieht man ohne weiteres, daß, um den letztgeschilderten Zweck zu erreichen, bei dem dreifachen Prisma I der Winkel β kleiner, also die Winkel α_1 und α_3 der Kronglasprismen, ebenso aber auch der Brechungswinkel α_2 des Flintglasprismas größer werden müssen. Bei den fünffachen Prismen II liegt die Sache umgekehrt. Hier muß der Winkel β größer werden und infolge dessen die Winkel α_2, α_3 und α_4 kleiner. Man wird schon voraussagen können,

daß durch diese Veränderungen die Dispersion des dreifachen Prismas größer, diejenige des fünffachen dagegen kleiner werden wird, was denn auch durch die Rechnung bestätigt wird.

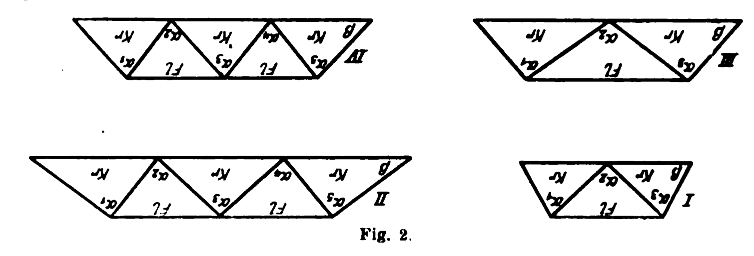


Fig. 2.

Die aus dieser Bedingung ($\beta = 45^0$) sich ergebenden Formen des dreifachen und des fünffachen Prismas sind in Figur 2 III und IV dargestellt. Die Winkel des dreifachen Prismas sind $\alpha_1 = \alpha_3 = 101$ Grad, $\alpha_2 = 111$ Grad, diejenigen des fünffachen Prismas $\alpha_1 = \alpha_5 = 86^0\ 15'$, $\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 82$ Grad. Die Zerstreuungen dieser Prismen sind

Raum	Prisma III	Prisma IV
$C-F$	$6^0\ 18'$	$5^0\ 6'$
$A-H_2$	$15^0\ 31'$	$12^0\ 51'$.

Die Zerstreuung des dreifachen Prismas III ist infolge des größeren Winkels des eingeschlossenen Flintglasprismas gegenüber der des dreifachen Prismas I ganz erheblich gewachsen, während diejenige des fünffachen Prismas IV im Vergleich zum Prisma II sich vermindert hat. Bei Durchführung des Winkels $\beta = 45$ Grad hat das dreifache Prisma sogar eine größere Zerstreuung als das fünffache, und es mag aus diesem Grunde die Anschauung entstanden sein, daß fünffache Prismen keine größere Zerstreuung ergeben als dreifache. Daß es sich um verschiedene Konstruktionen handelt, wird dabei übersehen. Übrigens reicht die Zerstreuung des dreifachen Prismas III immer noch nicht an diejenige des fünffachen Prismas II heran. Es mag noch hinzugefügt werden, daß sich für das fünffache Prisma unter der Bedingung $\beta = 95$ Grad noch eine andere Ausführungsform ergibt. Bei dieser wird dem mittleren Kronglasprisma der Brechungswinkel $\alpha_3 = 90$ Grad gegeben, während die übrigen vier Prismen den gleichen Brechungswinkel von 82 Grad erhalten. Es ist vielleicht in der Herstellung dem Prisma IV vorzuziehen, weil hier vier Prismen gleiche Winkel und das mittlere den leicht herzustellenden Winkel von 90 Grad hat. Die Zerstreuung und auch die Lichtverluste sind nur ganz unerheblich anders als bei dem Prisma IV.

Ähnliche dreifache Prismen wie das Prisma III werden vielfach hergestellt. So beschreibt H. C. Vogel[1]) ein solches dreifaches Prisma, dessen Winkel $\alpha_1 = \alpha_3 = 45$ Grad, $\alpha_2 = 110$ Grad waren. Er benutzte dazu Glasarten, deren mittlere Brechungsverhältnisse für das Kronglas 1,5260, für das Flintglas 1,7515 waren. Auch H. W. Vogel[2]) erwähnt schon, daß man meist dreifache Prismen wähle von mehr als 90 Grad Brechungswinkel.

Es liegt die Frage nahe, ob man nicht auch den drei inneren Prismen des fünffachen Prismas erheblich größere Winkel geben und so eine größere Dispersion erzielen kann. Die Frage muß verneint werden. Denn schon bei dem dreifachen Prisma III kommen am violetten Ende des Spektrums Auffallswinkel von 80 Grad

[1]) *Ber. d. Sächs. Ges. d. Wissensch.* 1873. *S. 538.*

[2]) Praktische Spektralanalyse. Berlin 1889. *S. 47.*

vor. Bei Vergrößerung der Prismenzahl nimmt die Ablenkung der stärker brechbaren Strahlen schnell zu, so daß sie überhaupt nicht mehr hindurchgelassen werden. Schon vorher nimmt die Helligkeit stark ab. Dasselbe läßt sich sagen, wenn man es bei dem Brechungswinkel der mittleren Prismen von 90 oder auch 82 Grad beläßt und die Prismenzahl vermehren, also etwa 7- oder 9fache Prismen konstruieren wollte. Browning soll einmal 7fache geradsichtige Prismen hergestellt haben. Ich habe früher solche Prismen berechnet, aber nicht ausgeführt. Bei dem siebenfachen Prisma stiegen, wenn die Mittelprismen 90 Grad Brechungswinkel hatten, für die Linie *G* die Auffallswinkel bereits auf 86 Grad, beim neunfachen Prisma gingen Strahlen von der Wellenlänge der Linie *G* überhaupt nicht mehr hindurch. Ein siebenfaches Prisma läßt sich allenfalls noch erreichen, wenn man anstatt des Flintglases Schwefelkohlenstoff verwenden würde.

Es wird also für alle praktischen Fälle bei den vier oben geschilderten Typen der drei- und fünffachen Prismen sein Bewenden haben müssen, und es ist nun zu untersuchen, wie weit andere physikalische Eigenschaften der Prismen die Leistung und damit die Benutzung beeinflussen. (Schluß folgt.)

Referate.

Die Stark- und Schwachstrommesser für Wasserströmungen.

Von A. Merz. *Sonderabdruck aus Reihe A, Heft 7 d. Veröffentl. d. Inst. f. Meereskde. N. F.*

Unter den Instrumenten, welche zum Bestimmen der Wasserstromgeschwindigkeiten und dessen Richtung auf hoher See hergestellt sind, nimmt der von V. W. Ekman erfundene Propell-Strommesser [1]) eine hervorragende Stellung ein. Er ist in vielen Ländern eingeführt und verdankt das vor allem seiner Handlichkeit und dem Umstande, daß der Flügel an einer dünnen Drahtlitze ins Wasser gelassen wird und keiner elektrischen Zuleitungsdrähte bedarf. Letzteres ist ein wesentlicher Vorteil, weil die zu einem Kabel vereinigten isolierten Drähte dem strömenden Wasser einen bedeutenden Widerstand bieten und wegen der daraus entstehenden Abdrift das Meßgebiet auf geringe Tiefen beschränken, während der Ekman-Flügel zum wenigsten an sich selbst darin unbegrenzt ist.

Dieser hat aber zweifellos einige Nachteile. Er ist sehr leicht gebaut und verletzlich und entspricht auch sonst nicht ganz den an Bord eines Schiffes und den durch dessen Besatzung gegebenen Verhältnissen. Es ist eben etwas weit Schwierigeres, einen Apparat bei Wind, Regen und Seegang, in starker Strömung, vielleicht bei mangelhafter Beleuchtung mit klammen Fingern zu bedienen, als dies in einem Laboratorium zu tun.

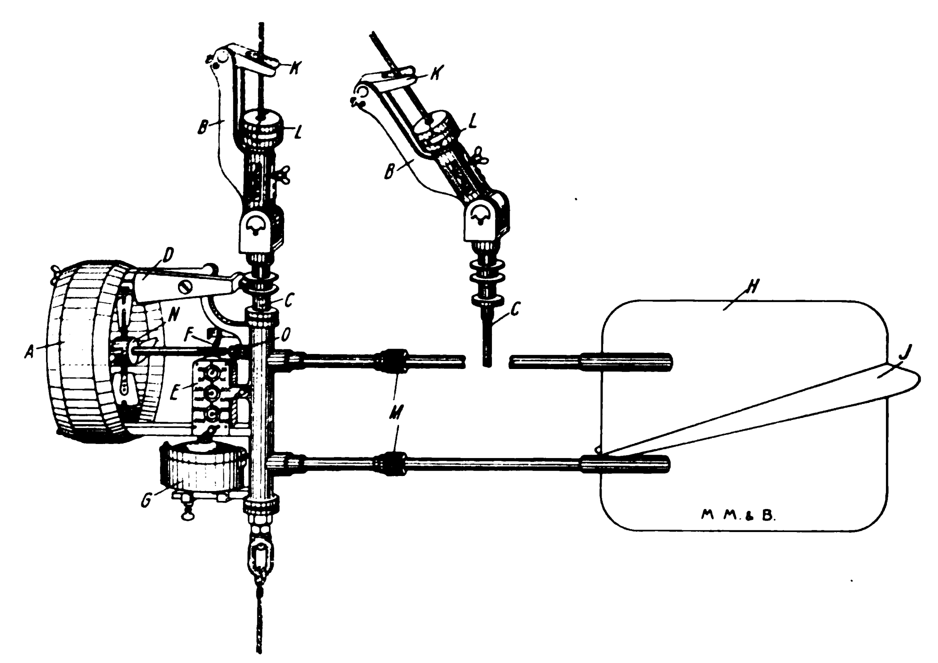
Von diesem Gedanken ausgehend haben Prof. Merz und Herr Max Marx in gemeinsamer jahrelanger Arbeit eine Anzahl von Änderungen des Eckman-Flügels erdacht und ausgeführt, welche sich bei der praktischen Arbeit als notwendig ergaben.

Zunächst eine kurze Beschreibung des Instruments. Der genannte Apparat ist um die Achse *C* (s. Fig.) drehbar und wird die Welle des Flügels *N* durch die Wasserfahne *H* in die Stromrichtung gedreht. Der Flügel ist zunächst arretiert und wird in diesem Zustande versenkt. In der gewünschten Tiefe angelangt, läßt man ein Fallgewicht an der Drahtlitze heruntergleiten. Dieses fällt auf den Winkelhebel *K*. Durch seine Drehung wird mittels Kettenübertragung und in der aus der Zeichnung sich ergebenden Weise der Flügel frei gemacht und rotiert. Nach Ablauf der Beobachtungszeit wird durch ein zweites Fallgewicht der Hebel *K* weiter gedreht und festgehalten und wird dadurch der Flügel wieder arretiert.

---

[1]) V. W. Ekman, Kurze Beschreibung eines Propellstrommessers. *Publications de Circonstance, Nr. 24 1905.* Kopenhagen, Fred Høst und Sohn.

Das Verhältnis der Umdrehungszahl des Flügels zur Stromgeschwindigkeit wird in einer Schleppanstalt ermitttelt. In die Welle des Flügels ist ein Schraubengewinde ohne Ende eingeschnitten. Durch das zugehörige Schneckenrad wird zunächst ein Zählwerk betätigt, dann aber auch eine durchbohrte Scheibe gedreht, wodurch z. B. nach 50 Umdrehungen des Flügels ein Schrotkorn zum Abfall aus einem Magazin gebracht wird. Dieses fällt durch eine Rinne zunächst auf eine Pfanne oberhalb der Pinne einer Kompaßnadel in dem Kompaßgehäuse *G*. Von hier läuft das Schrotkorn in einer Rinne auf dem Rücken der Kompaßnadel zu deren Nordspitze und fällt von dieser in eines der fächerartig auf den Boden des Kompaßgehäuses angeordneten 36 Abteilungen. Auf diese sinnreiche Art wird die Stromrichtung auf 10° genau bestimmt, das Kompaßgehäuse ist dem Meerwasser zugänglich. Die Kompaßnadel ist dadurch gegen starkes Vibrieren geschützt, allerdings auch empfindlich gegen Wasserströmungen, die durch das unvermeidliche Pendeln des Apparats in stark strömendem Wasser erzeugt werden können. Das gute Funktionieren der beschriebenen Einrichtung hängt wesentlich von der senkrechten Lage der Drehachse *C* ab. Zur Erhaltung derselben ist außer einem Belastungsgewicht am unteren Ende der Achse das Horizontalsteuer *J* an der Wasserfahne *H* angebracht.



Die von den Herren Merz und Marx erdachten wesentlichen Verbesserungen des Apparats sind folgende:

1. Der Apparat wurde in einer dem praktischen Bedürfnisse besser entsprechenden Weise kräftig ausgebildet und dadurch auch die Verwendung größerer Belastungsgewichte ermöglicht.
2. Den beiden Fallgewichten wurde gleiche Form und Größe gegeben, was früher nicht der Fall war. Letzteres hatte zur Folge, daß die Freilaufzeit der Flügel nicht genau gleich der Beobachtungszeit war.
2. Der Kopf des Apparats mit dem Auslösehebel wurde drehbar gemacht, so daß jetzt auch bei starker Strömung, Drahtlitze und Mittellinie des Kopfes in der selben Linie liegen. Bei dem festen Kopf des Ekman-Flügels war das nicht der Fall und hatte das häufiger ein Versagen der Auslösungsvorrichtung zur Folge. Das soll jetzt völlig ausgeschlossen sein.
4. Der Ekman-Flügel hatte eine aus zwei im spitzen Winkel zusammengefügten Aluminiumblättern bestehende Fahne und keine Horizontalsteuer. Durch den toten Raum zwischen den Blättern wurden Wasserwirbelungen erzeugt, die die Abdrift vergrößerten.

5. Das Zählwerk wurde leicht abnehmbar gemacht und ein auswechselbares Schrotkornmagazin vorgesehen. Hierdurch wurde es ermöglicht manche Arbeiten in einem geschützten Raum vorzunehmen, ohne den ganzen Apparat dorthin zu nehmen.
6. In dem angezogenen Aufsatz wird von der kardanischen Aufhängung des Kompasses ein weiterer Vorteil erwartet. Das gelegentliche vorgefallene Klemmen der Kompaßnadel soll dadurch beseitigt werden. Hoffentlich entspricht die geplante Änderung den Erwartungen.

Der neue Apparat wird in 2 Ausführungsformen von der Firma Max Marx und Berndt, Berlin NW. 5, Stephanstr. 60, in sauberer Arbeit hergestellt. Die leichtere ist für Geschwindigkeiten von 2 bis 140 cm/sec., die schwerere für solche von 8 bis 300 cm/sec. bestimmt. Letztere ist in der beigegebenen Figur abgebildet.

Alles zusammengenommen läßt sich sagen, daß diese Apparate als eine wesentliche Verbesserung des Ekman-Flügels anzusehen sind. Bedenken sind nur gegen den schweren Schutzring *A* zu erheben, der den Durchmesser des Flügels wesentlich einschränkt und der in seiner Breite und Schwere geeignet ist, den Wasserdurchfluß wesentlich zu beinträchtigen, die genaue Einstellung des Apparats in die Stromrichtung jedenfalls nicht fördert und in seiner jetzigen Form entbehrlich zu sein scheint.

Schließlich sei noch auf den Schlußabsatz des angezogenen Aufsatzes hingewiesen. In diesem wird gesagt, daß bei einem Versuch in der Schleppanstalt von je 26 abgefallenen Kugeln 21 in ein Fach fielen, 1 in das linke, 4 in das rechte Nebenfach. Hieraus wird gefolgert, „daß die Abweichung von der wahren Richtung 1° betrug". Ich zweifle nicht daran, daß durch eine bestimmte Gruppierung sich ein derartiges Resultat errechnen läßt. Bei einer anderen, die mir eben so annehmbar erscheint wie irgend eine andere, ermittelte ich nach der Methode der kleinsten Quadrate den mittleren Fehler einer Messung $= \pm 5^{0},3$ und deren wahrcheinlichen Fehler $= \pm 3^{0},4$. Es dürfte fraglich sein, ob die Angabe eines Fehlers $= 1^{0}$ der Forderung der Wissenschaft voll entspricht. Unkritische Leser könnten daraus die Folgerung ziehen, daß durch Versuche unter Benutzung des Merz-Marx-Flügels die Richtung einer Wasserströmung auf 1° genau bestimmt werden kann. Ich zweifle keinen Augenblick daran, daß Herr Professor Merz nie daran dachte, den Anschein zu erwecken, als ob das zu erwarten wäre. *Adolf Mensing.*

Die Photometrie optischer Instrumente.

Von J. Guild. *Trans. Opt. Soc.* **23.** *1921—22.*

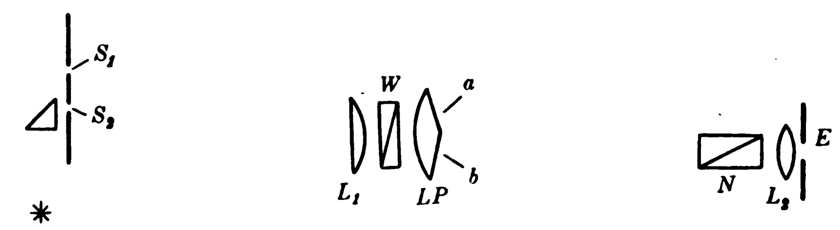
Der Verf. hebt einleitend hervor, daß es bei optischen Instrumenten einfacher Art nicht schwer sei, den Lichtverlust durch Absorption in den Glasmassen und durch Reflexion an deren Oberflächen ziemlich genau zu berechnen, daß aber bei Instrumenten mit einer großen Anzahl von optischen Teilen zur Kenntnis des durch sie erzeugten Lichtverlustes eine direkte Messung erforderlich sei. Solche Messungen seien wünschenswert, um die Leistung verschiedener Instrumente, welche dem gleichen Zweck dienen sollen, aber verschieden zusammengesetzt sind, miteinander zu vergleichen.

Die hierbei für kleine Instrumente wie Prismen-Binokels dabei angewandte Methode, sie auf eine Photometerbank zu bringen, versagt bei Scherenfernrohren und Periskopen infolge ihrer Größe und Schwere und der seitlichen Versetzung der Austritts- gegen die Eintrittspupille.

Die vom Verf. angewandte Methode beruht auf dem Gesetz, daß das Verhältnis der Flächenhelligkeit des Bildes zu derjenigen des Objektes unabhängig von der Vergrößerung des optischen Instrumentes ist, also nur beeinflußt wird von dem Lichtverlust durch Absorption und Reflexion in und an den Glasmassen, vorausgesetzt, daß die leuchtende Fläche, auf welche das Instrument gerichtet ist, eine genügende Größe hat. Wenn eine Lichtquelle von gleichmäßiger Flächenhelle in unmittelbarer Nähe der Austrittspupille eines teleskopischen Systems aufgestellt wird, so entsteht ihr Bild in der Eintrittspupille, in dem Objektiv, und das Verhältnis der Flächenhelligkeit beider ergibt unmittelbar die durch das Instrument von dem auffallenden Licht hindurchgegangene Menge.

Da eine Lichtquelle an sich keine gleichmäßig beleuchtete Fläche darbietet, benutzte der Verf. eine durch eine Lichtquelle beleuchtete Mattscheibe. In einem Laternenkasten, der in-

wendig mattweiß angestrichen war, brachte er 4 Metallfadenlampen von je 30 W an und verschloß die in der Vorderwand befindliche Öffnung mit einem Ilford-Diffusionsschirm, welcher sich zu diesem Zwecke als sehr geeignet erwies, indem er auch bei größeren Winkeln von der senkrechten Richtung als mit gleicher Flächenhelligkeit selbstleuchtend erschien, was bekanntlich bei einem einfachen mattierten Glase durchaus nicht der Fall ist. Eine nähere Beschreibung dieses Ilford-Schirmes wäre recht wünschenswert gewesen. Der Durchmesser des Schirmes war gewöhnlich zwei Zoll. Es zeigte aber auch ein größerer, von 5 Glühlampen beleuchteter und in der Längsseite eines innen mattweiß gestrichenen Kastens von 40 cm Länge, 17 cm Höhe und 13 cm Breite eingesetzter solcher Schirm sich bis nahe zu den Ecken vollständig gleichmäßig beleuchtet.



Zur Messung der Flächenhelligkeit wurde vom Verf. ein Polarisationsphotometer nach Art des König-Martensschen benutzt, dessen wesentliche Teile folgende (Fig.) sind. S_1 und S_2 sind zwei kleine kreisförmige Löcher, welche sich in der Brennebene der Linse L_1 befinden. Die Öffnung S_1 wird gegen den oben beschriebenen Diffusionsschirm gerichtet, vor der Öffnung S_2 befindet sich ein rechtwinkliges Reflexionsprisma, dessen äußere Fläche mattiert ist und durch eine Vergleichslampe von 4 Volt beleuchtet wird. Erforderlich ist selbstverständlich, daß während der Versuche das Verhältnis der Lichtstärke dieser Lampe zu denjenigen, die den Diffusionsschirm beleuchten, konstant bleibt. Auf die Linse L_1 folgt ein Wollaston-Prisma W und hierauf die mit einem Biprisma P verbundene Linse L. Die Kante des Biprismas wird durch die Linse L für das hinter der Okularöffnung E befindliche Auge scharf eingestellt. Das Nikolprisma N ist an einem Teilkreise drehbar.

Von jeder der Öffnungen S_1 und S_2 werden durch das Wollastonprisma zwei rechtwinklig gegeneinander polarisierte Strahlenbündel erzeugt, deren Bilder durch die Linse L in der Ebene E entworfen werden. Jedes dieser beiden Bilder wird durch das Biprisma wieder in zwei zerlegt. Die Abmessungen sind nun so getroffen, daß ein Bild von S, welches von der Seite b des Biprismas kommt, in der Öffnung E zusammenfällt mit einem senkrecht zum ersteren polarisierten Bilde der Öffnung S_2, welches die Seite a des Biprismas durchlaufen hat. Die übrigen sechs Bilder werden durch den Schirm E abgeblendet. Die beiden Seiten des Biprismas erscheinen also dem hinter E beobachtenden Auge in senkrecht zueinander polarisiertem Licht. Ihre Lichtstärke wird durch entsprechende Drehung des Nikols gleichgemacht und damit das Verhältnis der Lichtstärken, welche die Öffnungen S_1 und S_2 beleuchten, festgestellt.

Der Verf. macht dann noch darauf aufmerksam, daß, wie bei allen Polarisationsphotometern auch bei seiner Anordnung eines solchen Instrumentes ein falsches Resultat erzielt wird, wenn das einfallende Licht bereits polarisiert ist, wie es z. B. der Fall ist, wenn vorher Reflexionen an Spiegeln stattgefunden haben. Er beseitigt diesen Mangel dadurch, daß er vor den Eintrittsöffnungen eine Viertelwellenlängenplatte aus Selenit anbringt, deren Hauptrichtung einen Winkel von 45 Grad mit den Polarisationsebenen des Wollastonprismas bildet. Um die Lage der Viertelwellenlängenplatte zu justieren, wird das Photometer zuerst ohne diese Platte gegen einen durch unpolarisiertes Licht erleuchteten Schirm gerichtet und durch Drehung des Nikols N die beiden Felder gleich hell gemacht. Sodann wird das den Schirm beleuchtende Licht durch Vorschaltung eines Nikols polarisiert. Dann wird eines der Felder hell, das andere vollkommen dunkel erscheinen. Nun wird die Viertelwellenlängenplatte eingesetzt und so gedreht, daß wieder Helligkeitsgleichheit der beiden Felder vorhanden ist. Diese Gleichheit bleibt dann bestehen für alle Polarisationsrichtungen des aufhellenden Lichtes.

Da die Phasenverschiebung in der Kristallplatte mit der Wellenlänge veränderlich ist, so hat sie die gewünschte Eigenschaft nur für eine Farbe. Für andere Wellenlängen mußte die Platte also etwas gedreht werden, und bei Anwendung von weißem Licht entsteht ein Farbenunterschied zwischen den beiden Feldern des Gesichtsfeldes. Der Verf. empfiehlt für den Fall, daß diese Verschiedenheit störend wird, die Benutzung eines entsprechenden Farbenfilters. Für sein Instrument tat ein schwach grünes Filter (Wratten Nr. 57) gute Dienste. Solches Filter empfiehlt sich auch bei unpolarisiertem auffallenden Licht, um den Farbenunterschied zwischen der Vergleichslampe und der den Diffusionsschirm beleuchtenden Lampen auszugleichen. Da der Apparat zur Messung der Lichtdurchlässigkeit optischer Instrumente bestimmt ist, muß hierbei allerdings vorausgesetzt werden, daß deren Durchlässigkeit für grünes Licht nur unerheblich von demjenigen für weißes Licht abweicht, wie es tatsächlich bei den meisten optischen Instrumenten der Fall ist. Sollte dieses nicht zutreffen, so erscheint unter allen Umständen das durch ein solches Instrument hindurchgegangene Licht gefärbt und eine Messung seiner Durchlässigkeit für weißes Licht ist dann ohnedies nicht möglich. In solchen Fällen ist aber auch die Messung der Durchlässigkeit für grünes Licht zu empfehlen, weil dieses dem Bezirk des Maximums der Farbenempfindlichkeit des menschlichen Auges entspricht.

Zur praktischen Ausführung der Messungen wird zuerst die Flächenhelligkeit des Diffusionsschirmes vor dem Kasten mit den ihn beleuchtenden Glühlampen gemessen. Sodann wird dieser Kasten unmittelbar vor die Eintrittspupille des Instrumentes gebracht, das Photometer mit einer seiner Öffnungen S_1 dicht vor das Objektiv, und nun wieder gemessen. Da die Öffnung S_1 nur klein ist, so vermag man auch die Flächenhelligkeit an verschiedenen Stellen der Austrittsöffnung zu bestimmen. Der Verf. hält es aber in diesem Falle für praktischer, das Licht durch das Objektiv des Instrumentes einfallen zu lassen und dann durch eine vor das Okular gesetzte Hilfslinse ein Bild der Austrittspupille vergrößert bis zu 1—2 Zoll auf einen Diffusionsschirm zu projizieren. Da hierzu eine größere Flächenhelligkeit des vor dem Objektiv aufgestellten Diffusionsschirmes erforderlich ist, benutzt er zu dessen Beleuchtung eine 500-Kerzenlampe mit vorgesetzter Linse. Die Öffnung S_1 muß, um die Messung zu lokalisieren, unmittelbar an den Schirm mit dem vergrößerten Bilde der Austrittspupille anstoßen. *H. Krüss.*

Beiträge zur Theorie des Sehraumes.

Von Karl Horovitz. *Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-Naturw. Klasse IIa.* ***130.*** *S. 405. 1921.*

Von dem geometrisch ausmeßbaren Raum, den Raum der Physik, unterscheiden sich die psycho-physiologischen Räume, welche je nach der Sinnesart, von der der Raum wahrgenommen wird, verschieden sind. Die im Sehraum wahrgenommenen Objekte haben eine Ausdehnung nach drei Dimensionen, man spricht deshalb nicht nur von Höhen- und Breitenwerten, die die Sehgrößen definieren, sondern auch von Tiefenwerten, welche die Sehfernen, d. h. die gesehenen Entfernungen der Gegenstände vom Auge, bestimmen.

Der gewöhnlich empfundene Sehraum ist der Raum des bewegten Doppelauges bei bewegtem Kopf. Der Verf. beschränkt sich auf den Sehraum des ruhenden Auges, dem die räumliche Mannigfaltigkeit in der Tiefe begrenzt wird durch den Horizont, der eine zur Blickrichtung senkrechte Ebene ist. Die seitliche Begrenzung wird durch den Öffnungswinkel, der durch die wirksame Apertur des Auges gegeben ist, begrenzt. Dieser Winkel beträgt für das Einzelauge etwa 150°, und zwar 95° nach außen und 55° nach innen, für beide Augen zusammen also 190°

Der Verf. beschäftigt sich in seinen Versuchen wesentlich mit der Tiefenwahrnehmung. Er bezeichnet den Sehraum als einen durch den Öffnungswinkel gegebenen Ausschnitt aus einem Relief, in dem die geometrisch-physikalisch ausmeßbaren Geraden wieder als Gerade erscheinen. Die vom Verf. entwickelten geometrischen Beziehungen in einem solchen Relief sollen hier nicht wiedergegeben werden.

Ein Maß für die binokulare Tiefenwahrnehmung ist durch die Parallaxe gegeben. Punkte, die unter gleichen parallaktischen Winkeln erscheinen, sind gleich weit entfernt. Für die körperliche Wahrnehmung der Parallaxe ist von ausschlaggebender Wichtigkeit die für die Vereinigung der den beiden Augen gebotenen Bilder erforderliche Muskelanstrengung.

Außer durch binokulare Beobachtung können auch monokular Tiefenunterschiede wahrgenommen werden, wenn auch die Genauigkeit der Lokalisation nicht sehr groß ist. Da die Akkomodation dabei keine große Rolle spielen kann — bei Entfernungen über 15 m kommt sie überhaupt nicht mehr in Betracht —, so spielen dabei wohl Bewegungen des Auges und des Kopfes Hauptrolle.

Der Verf. beschreibt nun einige Versuche über die Tiefenwahrnehmung, die er mit einer größeren Anzahl von Personen angestellt hat. Wurde ein Gegenstand zuerst mit beiden Augen betrachtet und dann nur mit einem, so scheint er kleiner zu werden. Bei dem Übergang vom binokularen zum monokularen Sehen wird die Pupille durch den konsensuellen Pupillenreflex größer, die Tiefenschärfe geringer und die Sehschärfe kleiner. Wird ein Gegenstand zuerst mit bloßem Auge betrachtet und dann durch ein Rohr von größerer Weite als die Pupille, so erscheint der entfernte Gegenstand kleiner. Auch hier wird die Pupille größer, da das seitliche Licht abgeblendet wird, während die Sehschärfe besser wird.

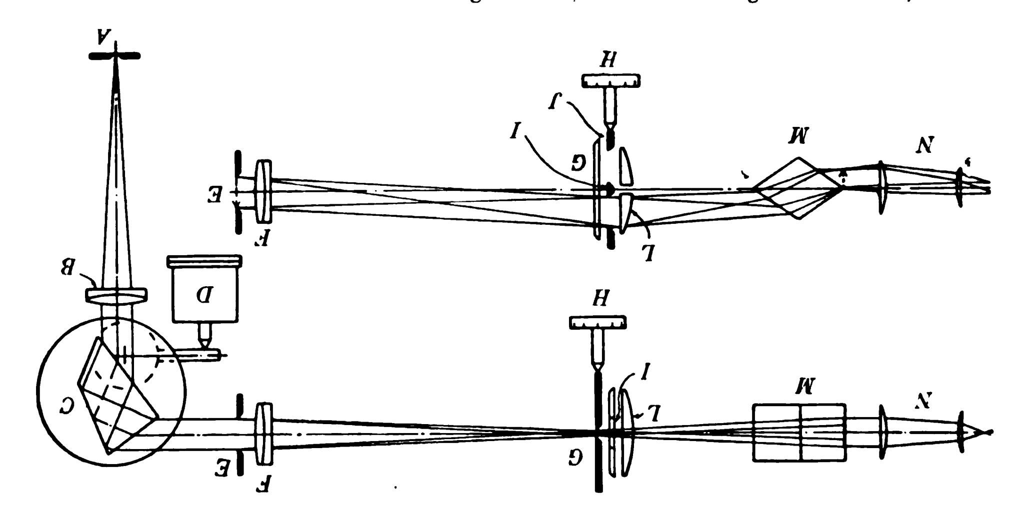
Die Vermutung, daß die Herabsetzung der Sehschärfe die scheinbare Verkleinerung des gesehenen Gegenstandes zur Folge hat, wurde durch folgende Versuche erhärtet. Einmal wurden vor das beobachtende Auge Rauchgläser gehalten und dadurch die Sehschärfe herabgesetzt. Die beobachtete Verkleinerung trat ein. Derselbe Erfolg wurde erzielt, wenn durch starke Beleuchtung des nicht beobachtenden Auges das beobachtende Auge mit geblendet wurde. Ebenso ergaben einige andere Versuchsanordnungen dasselbe Resultat. *H. Krüss.*

Ein Spektrophotometer ohne Polarisation.

Von A. J. Bull. *Trans. Opt. Soc.* **23.** *Nr. 3. 1921—22.*

Der Titel scheint darauf hinzudeuten, daß dem Verf. Spektrophotometer, in denen die Lichtschwächung nicht durch polarisierende Mittel bewirkt wird, wie diejenigen von Vierordt, Lummer-Brodhun u. a., unbekannt sind.

Als Nachteil der Polarisations-Spektrophotometer führt der Verf. an, daß wegen des Lichtverlustes in den polarisierenden Mitteln — die Intensität wird auf weniger als die Hälfte verringert — der Eintrittsspalt verhältnismäßig breit sein muß. Infolgedessen werden beträchtliche Teile des Spektrums gleichzeitig im Okularspalt erscheinen, das Spektrum also wenig rein, nicht monochromatisch und es deshalb nicht möglich sein, sichere Messungen zu machen, wenn der



Intensitätsabfall stark ist, z. B. in der Mitte eines Absorptionsstreifens. Man muß dann den Okularspalt sehr eng machen und hat zum Vergleich zwei lange Rechtecke, welche mit ihren schmalen Enden zusammenstoßen, was die allerungünstigste Anordnung in bezug auf die photometrische Vergleichung sei. Als weiteren Nachteil führt der Verf. an, daß bei Drehung des Analysators eine leichte seitliche Bewegung des Spektrums durch das Gesichtsfeld stattfinde und dadurch die beobachtete Wellenlänge nicht gesichert sei. Der Verf. muß zu dieser Erfahrung

durch einen Apparat mit mangelhaft ausgeführtem Analysator gekommen sein. Etwas annehmbarer ist der Einwand des Verf., daß die einfache Abhängigkeit der Intensität von der Drehung des Analysators nur dann besteht, wenn der Nullpunkt, die Einstellung des gekreuzten Nikols auf vollständige Auslöschung richtig bestimmt ist, und das sei etwas schwierig.

Aus diesen Gründen hat der Verf. ein Spektrophotometer ohne polarisierende Mittel konstruiert, welches in möglichst monochromatisch beleuchtetem Gesichtsfelde zu arbeiten gestattet. Er beschreibt sein Instrument folgendermaßen.

Der Kollimator enthält den Eintrittsspalt *A* und das Objektiv *B* von 290 mm Brennweite. Das Prisma *C* mit konstanter Ablenkung von 90 Grad wird durch eine Schraube mit in Wellenlänge geteilter Trommel *D* bewegt. Das Objektiv *F* des Beobachtungsrohres hat eine Brennweite von 700 mm. Durch diese verhältnismäßig große Brennweite erscheint das Spektrum im Gesichtsfelde sehr ausgedehnt und das durch die Gesichtsfeldblende herausgeschnittene Stück möglichst monochromatisch. Vor dem Objektiv *F* befindet sich eine rechteckige Blende *E* von 18 mm Breite und 13 mm Höhe.

Der neue konstruktive Gedanke des Verf. beginnt nun mit dem in der Brennpunktsebene des Objektives *F* befindlichen senkrechten Spalt *G*, dessen Weite durch die Schraube *H* verändert werden kann. Er soll dazu dienen, einen schmalen Bezirk aus dem Spektrum auszublenden. Dieser Spalt *G* hat eine Länge von 25 mm, seine Mitte ist aber bedeckt durch eine undurchsichtige horizontale Platte *I* von 5 mm Breite, so daß der Spalt in einen oberen und einen unteren Teil von je 10 mm Höhe zerfällt.

Der untere Teil ist versehen mit einem durch die Mikrometerschraube *H* zu bewegenden Schieber, so daß dieser Teil in meßbarer Weise verkürzt werden kann. Unmittelbar auf diesen Spalt folgen zwei achromatische Halblinsen *L* von 280 mm Brennweite, welche um ein bestimmtes Stück voneinander entfernt sind, so daß zwei Bilder der Öffnung *E* entstehen, und zwar an der dem Okular *N* zunächstliegenden Kante des Glasrhombus *M*. Dieses ist der bekannte von Hüfner in seinem Spektrophotometer bereits benutzte Rhombus mit der Abweichung, daß seine Flächen nicht ganz parallel sind; der erste spitze Winkel desselben beträgt 60 Grad, der zweite. dem Auge nächstliegende 58 Grad, und zwar zu dem Zweck, um die beiden von den Halblinsen kommenden Strahlenbündel wieder einander parallel zu machen.

Der auf seine Absorption zu prüfende Körper wird vor die untere Hälfte der Eintrittsspalte *A* gebracht, während das Vergleichslicht durch seine obere Hälfte einfällt. Diese beiden Strahlenbündel beleuchten die ganze Kollimatorlinse *B*. Der Spalt *G* ist infolgedessen in seiner oberen Hälfte von den durch die zu untersuchende Substanz gegangenen Strahlen beleuchtet, die untere Hälfte durch das Vergleichslicht und die beiden Halblinsen *L* erscheinen je in dem Lichte der beiden Hälften des Spaltes *G*, dessen untere Hälfte zur Herstellung gleicher Helligkeit durch den Schieber *J* entsprechend verkürzt wird. Die beiden im Okular zu betrachtenden Felder sind durch die scharfe Kante des Rhombus voneinander getrennt. Die Färbung der beiden Felder ist in weitem Maße dieselbe. Die Genauigkeit der Messung hängt selbstverständlich von dem Parallelismus der Schneiden der verschiedenen Spalten ab und von der genauen Justierung der einzelnen Teile des Apparates zueinander. Der Verf. gibt Hinweise, wie diese zu prüfen sind und hebt zum Schluß hervor, daß dieses Spektrophotometer sich auch zur Bestimmmung des Lichtverlustes an mehrfarbigen Mineralien eignet, eben weil darin keine polarisierenden Mittel benutzt werden.

Es muß anerkannt werden, daß das vom Verf. beschriebene Spektrophotometer infolge der langen Brennweite des Objektives des Beobachtungsrohres und durch die Einschaltung des engen Spaltes *G* in der Brennebene dieses Objektives sehr monochromatisches Licht zur Vergleichung zu bringen geeignet ist. Es sei aber darauf hingewiesen, daß einerseits, wie der Verf. selbst erwähnt, die Benutzung eines Rhombus, um zwei nebeneinander laufende Strahlenbündel zur Berührung in einer scharfen Linie, der Kante des Rhombus, zu bringen, von Hüfner stammt, andererseits aber, daß auch weitere Konstruktionselemente, die er benutzt, schon früher angewendet worden sind. Nämlich der undurchsichtige Streifen *I* zur Trennung eines Spaltes in eine obere und eine untere Hälfte, die dann durch irgendeine Vorrichtung zur Berührung gebracht werden. Diese Vorrichtung findet sich z. B. schon bei dem Polarisations Spektrophoto-

meter von Glan. Und die beiden etwas voneinander entfernten Halblinsen sind zu dem gleichen Zwecke zuerst von P. Schottländer (*diese Zeitschr. 9. S. 98. 1889*) angegeben worden. Er benutzte sie als Kollimatorobjektive unter gleichzeitiger Anwendung eines undurchsichtigen Streifens vor dem Eintrittsspalt und erreichte dadurch dieselbe Wirkung wie der Verf. bei seinem Instrument. *H. Krüss.*

Über neuere Strahlungspyrometer.

Georg Keinath. Die Messung hoher Temperaturen mit Ardometer und Holborn-Kurlbaum-Pyrometer. *Siemens-Zeitschr. Sept.-Okt. 1921.* Siemens & Halske A.-G. Wernerwerk. *Druckschrift 194* (*17 S.*) Georg Keinath, Ein neues Strahlungspyrometer zur Messung hoher Temperaturen. *E. T. Z. 42. S. 1384, 1921.* Ferner R. Hase, Neues und Altes über technische Pyrometrie. *Feinmechanik 1. S. 138. 1922.*

Für die praktische Messung hoher Temperaturen kommen von den Strahlungspyrometern im wesentlichen zwei Typen in Betracht: 1. Optische Pyrometer (Holborn-Kurlbaum, Wanner), d. h. Instrumente, bei denen die Intensität der Strahlung in einem engbegrenzten Gebiete des sichtbaren Spektrums ihrer Helligkeit nach, also optisch (photometrisch) gemessen wird und 2. Gesamt-Strahlungs-Pyrometer (Féry, Hirschson), bei denen die Intensität der Strahlung im gesamten Spektralbereich energetisch, d. h. durch ihre Wärmewirkung auf wärmeempfindliche Organe (Thermoelemente, Bolometer oder auch Bimetallstreifen) gemessen wird.

Während die Instrumente der ersten Art eine jedesmalige subjektive Einstellung erfordern, zeigen die der zweiten Art, nachdem sie einmal der Strahlungsquelle gegenüber richtig justiert sind, in derselben Weise deren Temperatur dauernd an, wie etwa ein eingebautes Thermoelement, ohne daß jedoch irgend ein Teil des Apparates in unmittelbarer Berührung mit ihr zu sein braucht. Es ist verständlich, daß in praktischen Betrieben dies als ein Vorzug betrachtet wird, namentlich wenn es sich darum handelt, längere Zeit hindurch Heizvorgänge nicht nur zu überwachen, sondern auch mit Registrierinstrumenten aufzuzeichnen.

Die bisher gebräuchlichen Strahlungspyrometer dieser Art konnten jedoch den Anforderungen der Praxis nur unvollkommen genügen: Bei dem Féryschen Pyrometer, bei dem die Strahlung durch einen vergoldeten Hohlspiegel auf die Lötstelle eines Thermoelementes konzentriert wird, sind die empfindlichen Teile leicht einer Verschmutzung von außen ausgesetzt und die erzeugte Thermokraft beträgt maximal nur etwa 4 Millivolt, so daß sehr empfindliche Galvanometer verwendet werden müssen. Überdies muß eine stärkere Erwärmung des ganzen Instrumentes vermieden werden, während man andrerseits, um die erforderliche Öffnung des Ofens in erreichbaren Grenzen zu halten, sehr nahe an den Ofen herangehen muß, was nur sehr schwer erfüllbare Bedingungen für die Anordnung fordert. Bei dem Hirschsonschen Pyrometer, bei dem nach dem bolometrischen Prinzip zwei Zweige einer Wheatstoneschen Brücke bestrahlt werden, sind ebenfalls die die Strahlung empfangenden Nickeldrahtspiralen gegen Verschmutzung nur unvollkommen geschützt. Auch ist das Instrument gegen starke Erwärmung von außen nicht unempfindlich, da die durch die Strahlung hervorgerufene Übertemperatur über die durch den Heizstrom erzeugte Temperatur von etwa 100° maximal nur wenige Grade beträgt.

Unter diesen Umständen ist es als ein Fortschritt zu bezeichnen, daß von verschiedenen Seiten Strahlungspyrometer auf den Markt gebracht werden, bei denen einige der wesentlichsten Mängel der älteren Formen beseitigt sind. Diese neuern Strahlungspyrometer sind nach dem Féryschen Prinzip gebaut, um eine besondere Stromquelle, wie sie bei dem bolometrischen Prinzip gebraucht wird, zu entbehren. Der wesentliche Fortschritt besteht darin, daß als Empfänger ein Vakuumthermoelement verwendet wird, auf dessen Lötstelle die Strahlung durch eine einfache Glaslinse konzentriert wird. Dadurch sind nicht zu unterschätzende Vorteile erzielt worden: Der Einschluß der strahlungsempfangenden Teile in eine evakuierte Glashülle ermöglicht die Verwendung sehr feiner Thermoelementendrähte und dadurch eine wesentliche Herabsetzung der thermischen Trägheit und Erhöhung der Empfindlichkeit. Die Nebenlötstellen, die ebenfalls im Vakuum liegen und sich mit der Hauptlötstelle ins Wärmegleichgewicht setzen, nehmen schnell eine von der Umgebungstemperatur in geringem Maße abhängige Temperatur an. Eine Verschmutzung

oder Beschädigung der empfindlichen Teile ist bei der kompendiösen glühlampenartigen Form des Vakuumthermoelementes so gut wie ausgeschlossen.

Das erste Instrument dieser Art ist das *Ardometer* der Firma Siemens & Halske, das von Herrn G. Keinath durchgebildet ist. Der Apparat besteht aus einem Fernrohr mit Thermoelement als Strahlungsempfänger und einem Galvanometer als Anzeige- oder Registrierinstrument für die entwickelte Thermokraft. Das Fernrohr hat die geringe Länge von 12 cm. Eine Glaslinse als Objektiv dient zum Sammeln der Wärmestrahlen, ein Okular mit Rotglas[1]) zur Schonung der Augen zum richtigen Anvisieren der Strahlungsquelle. Die Objektivlinse ist auf eine bestimmte mittlere Entfernung fest eingestellt, was bei der kurzen Brennweite von etwa 50 mm kaum ins Gewicht fällt. Das Thermoelement besteht aus zwei gekreuzten Drähten von 0,03 mm Dicke, auf die ein geschwärztes Platinblättchen von 0,007 mm Dicke hart aufgelötet ist. Durch die geringe Drahtstärke ist die thermische Trägheit so herabgesetzt, daß der Endausschlag bei plötzlicher Bestrahlung schon nach etwa 10 Sek. erreicht wird. Die Empfindlichkeit des Elementes, die durch das Evakuieren auf etwa das Dreifache erhöht ist, ist so groß, daß bei einer Temperatur der anvisierten Strahlungsquelle von 1400° C eine Thermokraft von etwa 15 Millivolt erzeugt wird. Da dies für betriebssichere Galvanometer vollkommen ausreicht, wird zur Schonung des Thermoelementes für noch höhere Temperaturen der Strahlungskegel durch eine objektseitige Blende enger begrenzt. Die Einschaltung der Glaslinse und der Glashülle des Elementes in den Strahlengang hat allerdings zur Folge, daß die langwelligen Wärmestrahlen stärker absorbiert werden als die kurzwelligen Strahlen, und daß infolgedessen die Erwärmung der Lötstelle nicht entsprechend dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz der vierten Potenz der absoluten Temperatur der Strahlung proportional ist. Die Abhängigkeit ist vielmehr derart, daß in tieferen Temperaturen der Anstieg nach einer wesentlich höheren (8. bis 6.) Potenz und erst in höheren Temperaturen nahezu nach der 4. Potenz erfolgt; die Skala, die deshalb empirisch geeicht werden muß, erscheint daher im unteren Temperaturgebiet sehr eng und die Meßgenauigkeit dort stark herabgesetzt. Die untere Meßgrenze ist zu etwa 600° C anzusetzen.

Das zweite Instrument dieser Art ist das Strahlungspyrometer der Firma Dr. R. Hase-Hannover. Es ist dem Ardometer außerordentlich ähnlich gebaut. Wie jenes besteht es auch aus einem kurzen Fernrohr mit Vakuumthermoelement, fester Objektivlinse und Okular. Dementsprechend ist auch, soweit sich aus den allerdings nur unvollständigen Zahlenangaben entnehmen läßt, die Wirkungsweise ähnlich. Als untere Meßgrenze wird hier etwa 450° C angegeben, eine Grenze, die bei Verwendung empfindlicherer Galvanometer noch weiter herabgesetzt werden kann. Eigenartig ist eine Form des Instrumentes, bei dem auch das anzeigende Galvanometer in demselben Rohr untergebracht ist, in dem sich das Fernrohr und Thermoelement befinden, so daß das ganze Pyrometer einen einheitlichen Körper ohne jeden Nebenapparat bildet.

Es ist wohl kein Zweifel, daß die beiden neuen Strahlungspyrometer eine wesentliche Bereicherung der technischen Temperaturmeßgeräte darstellen. Indessen darf doch nicht übersehen werden, daß sie an Genauigkeit hinter den optischen Instrumenten zurückstehen und daß ihnen einige Mängel anhaften, die den Gesamtstrahlungsmessern überhaupt eigentümlich sind. Dazu gehört vor allem, daß ihre Angaben in höherem Grade als bei den optischen Pyrometern unrichtig werden, sobald die Strahlung nicht mehr vollkommen „schwarz" ist. Ihr Hauptanwendungsgebiet liegt also dort, wo es sich darum handelt, die Vorgänge im Innern eines Ofens zu überwachen, bei dem man von vornherein auf eine nahezu schwarze Hohlraumstrahlung rechnen kann, oder wo sich ein an einem Ende geschlossenes Rohr derart einbauen läßt, daß die von dem anvisierten Boden ausgehende Strahlung als hinreichend schwarz angesehen werden kann.

Fr. Hoffmann.

---

[1]) Ein neutrales Rauchglas dürfte sich zur besseren Sichtbarkeit von Einzelheiten im Ofen mehr empfehlen. Das Rotglas, das von den Instrumenten übernommen zu sein scheint, bei denen es auf Monochromatisierung des Lichtes ankommt, verliert hier jede Berechtigung. D. Ref.

Kleine Mitteilungen.

Bemerkungen zur Einführung des Skalenmikroskopes und Ergänzungen zum Aufsatz von K. Lüdemann.

Diese Zeitschr. 42. S. 285—300. 1922.

Herr K. Lüdemann spricht in diesem Aufsatz sowohl Max Hildebrand, Freiberg i. S., wie auch Moritz Hensoldt, Wetzlar, die Einführung des Skalenmikroskopes zu. Bisher wurde die Erfindung der Skalenmikroskope allein auf Moritz Hensoldt zurückgeführt. Der Unterzeichnete hat den Briefwechsel zwischen Moritz Hensoldt, Wetzlar, und der Fa. Breithaupt & Sohn, Cassel, aus den Jahren 1877 bis 1886 noch einmal nachgelesen, ebenso die von Jordan an erster Stelle in der *Zeitschr. f. Verm. 8. S. 497. 1879* von Moritz Hensoldt gebrachte Veröffentlichung seiner Erfindung, die er schon im Herbst 1878 derselben Zeitschrift eingereicht hatte· Die hierauf folgende Mitteilung von Prof. M. Schmidt: Ablesen von Kreis- und Längenteilungen mit vereinfachten Mikroskopen, *Zeitschr. f. Verm. 8. S. 505. 1879,* bespricht ein Hildebrand-Mikroskop mit Mikrometerteilung auf Silberplättchen, auf der Kante geteilt, das besonders beleuchtet werden mußte Diese Einrichtung bürgerte sich nicht ein, dagegen machte das Hensoldt-Skalenmikroskop in der von Moritz Hensoldt angegebenen kompendiösen neuen optischen Form sofort seinen Weg.

Aus dem erwähnten Briefwechsel, der von Interessenten in Cassel eingesehen werden kann, geht weiter hervor, daß Breithaupt & Sohn längere Zeit mit Hensoldt darüber korrespondierten und ihn veranlaßten, ein einfacheres Mikroskop als das Schraubenmikroskop zu schaffen. Dies berührt auch Hensoldt in der genannten Veröffentlichung *Zeitschr. f. Verm. 8. S. 503. 1879* mit den Worten: „Die Herren Breithaupt & Sohn in Cassel, mit welchen ich seit langen Jahren in Geschäftsverbindung stehe, und welchen ich meine Ablesungsmethode mitteilte, haben deren Einführung bei ihren mathematischen Instrumenten unternommen und lassen zur Zeit einen neuen Theodoliten dieser Art den kompetentesten Sachverständigen zur Prüfung zugehen.“ Eine Bestellung der Firma Fr. Krupp, Essen, bei Breithaupt im Juli 1878 auf Komparatoren gab Veranlassung zur Einführung der damals in den Hensoldt- und Breithaupt-Werkstätten schon bekannten Skalenmikroskope. Hierüber berichtet Breithaupt in der *Deutschen Bauzeitung 22. S. 117. 1880.* Dieser sehr lesenswerte Artikel dürfte die ausführlichen Literaturangaben des Herrn Lüdemann noch ergänzen.

Auf Seite 288 seiner Betrachtungen sagt Herr Lüdemann, daß das schon 1879 von M. Hensoldt vorgeschlagene, z. T. noch heute (22. S. 20) empfohlene Verfahren, „beim Ablesen nicht die ganze Breite des Strichs, sondern stets die nach ein und derselben Seite gelegene Kante desselben in Betrachtung zu ziehen“, nicht von den unvermeidlichen Schätzungsfehlern befreie. Durch die in Klammern gegebene Literaturangabe weist Herr Lüdemann auf die Veröffentlichung von W. Breithaupt „Die Theodolite, 2. Auflage, Cassel 1919“ hin, er vergißt aber, die auf der gleichen Seite 20 im nächsten Absatz von Dr. Wilh. Breithaupt gemachte Bemerkung aufzuführen: „Da die Teilstriche des Limbus beim Einteilen naturgemäß in eine Spitze auslaufen, so benutzt man besser noch zum Ablesen das Ende dieser Spitze. Es lassen sich damit 0,1 Minuten sehr genau bestimmen.“ Im weiteren behauptet nun Herr Lüdemann, daß der Weg zu einer brauchbaren Ausnutzung des Skalenmikroskopes mit Glasplättchen erst frei wurde, als es Hildebrand gelang, die Kreisteilstriche mit einer feinen, schlanken und genau in der Achse liegenden Spitze zu versehen. Es ist für diesen Werdegang nicht uninteressant zu berichten, wie diese Spitzen eigentlich entstanden sind. Durch einen Zufall. M. Hensoldt verlangte nämlich, weil er bei seinem neuen Skalenmikroskop stärkere Vergrößerungen als beim bisher üblichen Schraubenmikroskop anwandte, von Breithaupt besonders feine Striche. Deshalb wurden die Teilreißer schlanker geschliffen und Friedr. Breithaupt erzielte dünnere Striche, die in eine schlanke Spitze ausliefen. Dieses berichtet er 1877/1878 handschriftlich in seinem „Teilbuch“, in das er stets sofort alle neuen Erfahrungen, die sich bei der Einteilung der Kreise ergaben, eintrug. Er zeichnet sogar die Teilstriche mit den Spitzen an zwei verschiedenen Stellen auf, ja er bildet auch die Form des „neuen

Reißers“ ab. Hensoldt erwähnt diese Kreisteilstriche mit schlanker Spitze in seiner zweiten Veröffentlichung *Zentral-Ztg. f. Opt. u. Mech. 8. S. 242. 1887.*

Die schlanken Spitzen wurden von 1877 ab von Breithaupt vorteilhaft zum genauen Zentrieren der Kreise mit mikroskopischer Ablesung benutzt.

Die ersten Hensoldt-Skalenmikroskope und Breithaupt-Theodolite mit Skalenmikroskopen aus den Jahren 1878, 1879 und 1880 wurden, wie die Bücher ergeben, an die Professoren Bauernfeind-München, Nagel-Dresden, Schoder-Stuttgart, Helmert-Aachen, die Firma Krupp-Essen und Oberstleutnant Schreiber-Berlin geliefert.

Der Unterzeichnete sah im Jahre 1921 in der Stuttgarter Sammlung der Techn. Hochschule den Breithaupt-Theodolit Nr. 1305 mit Skalenmikroskopen, dessen Striche in Spitzen auslaufen. Nach alledem kann man wohl sagen, daß man sich in Cassel über die praktischen Vorzüge der Teilstriche mit schlanken Spitzen von Anfang an klar war.

Daß Prof. M. Schmidt die von Lüdemann erwähnte Hildebrand-Konstruktion des Mikroskopes mit Mikrometer auf Silberplättchen selbst bald aufgab, beweist ein Brief von Moritz Hensoldt an Breithaupt vom 13. November 1885, indem es u. a. heißt: „Die Leistung (nämlich der Skalenmikroskope) ist höchst befriedigend. Als Beispiel will ich nur einen Auszug aus einem Schreiben der Herren August Linke & Co. in Freiberg anführen, die diese Ablesung öfters anwenden:

„Das Messen mit den Ablesemikroskopen geht aber bedeutend schneller als mit Schraubenmikroskopen. So hat Herr Prof. Schmidt hier, freilich ein ungewöhnlich geschickter Beobachter, mit einem unserer Instrumente von nur 12 cm Kreisdurchmesser und mit Ihren Ablesemikroskopen versehen, als Schlußresultat verschiedener Winkelmessungen eine durchschnittliche Genauigkeit von 1—2″ erreicht usw.“

Moritz Hensoldt schließt diese briefliche Betrachtung mit den Worten: „Es ist dies derselbe Herr Prof. Schmidt, welcher sich seiner Zeit beim Erscheinen meiner ersten Abhandlung (1879) eigentlich wenig günstg für meine Ablesung zeigte und sich jetzt ganz zu derselben bekehrt hat.“

Nach alle dem Angeführten, zu dem noch weiteres Material geliefert werden könnte, glaubt der unterzeichnete Verfasser nicht historisch Unrichtiges gesagt zu haben, wenn er im Breithauptschen Katalog Teil I, S. 39, 1923, eine früher schon von seiner Firma gemachte Bemerkung wiederholt: „Die Schätzmikroskope wurden von M. Hensoldt in Wetzlar 1877 erfunden und von G. Breithaupt zuerst 1878 angewandt.“

Cassel, November 1922. *Dr. Georg Breithaupt.*

Bemerkung zum Hugershoff-Heydeschen Autokartographen.

Nachdem Herr Dr. v. Gruber auf *S. 348* des vorigen Jahrganges dieser Zeitschrift diejenigen meiner Ausführungen angegeben hat, die nach seiner Auffassung falsch sind, bleibt mir nunmehr nur noch übrig, die entsprechenden Quellen anzuführen, die mir als Unterlage zu den beanstandeten Angaben gedient haben.

Zu Nr. 1 verweise ich zunächst auf den in meiner Arbeit mehrfach zitierten Aufsatz von Dr. Lüscher „Der Stereoautograph Modell 1914, seine Berichtung und Anwendung“ *(diese Zeitschr. 39. S. 2. 1919)*, in welchem es auf *S. 13* heißt: „Infolge des verhältnismäßig geringen Spielraumes in der Brennweiteneinstellung (18 bis 20 cm) beim Modell 1914 läßt dies im Mittel nur Neigungen der Achsen bis $\sim 5^{0}$ zur Verarbeitung zu, während sie beim Modell 1911 bis $\sim 30^{0}$ betragen können.“

Eine weitere Bestätigung hierfür war mir die Tatsache, daß die im Herbst 1921 erfolgte Auswertung der Schrägaufnahmen von Lenggries nicht auf dem Modell 1914, sondern auf dem Modell 1912 vorgenommen worden ist (vgl. z. B. Gürtler, Die Arbeit des Luftbildes im Dienste der Landesvermessung nach dem Stande der heutigen Erfahrungen. *Ber. u. Abh. d. Wissenschaftl. Ges. f. Luftfahrt*, 6. Heft, Januar 1922, *S. 97*).

Zu Nr. 2. Herr Dr. v. Gruber hat anscheinend vollständig übersehen, daß ich als Hilfsmittel zur Ablesung der Höhenskala nicht nur „Schraubenmikroskope mit über der Trommel an-

gebrachter Lupe" angegeben habe, sondern daß an erster Stelle Lupen erwähnt sind und zwar auf Grund der Beobachtungen, die ich an den Stereoautographen machte, die ich gelegentlich früherer Besuche in Jena, Wien und München gesehen habe. Die Feststellung des Herrn Dr. v. Gruber kann sich somit nur auf eine gänzlich nebensächliche und aus diesem Grunde auch in Klammer eingeschlossene Bemerkung beziehen, die auf eine Beobachtung an einem Stereoautographen zurückgeht, dessen Aufbau ich im August 1921 in den Zeissschen Werkstätten sah. Wie mir inzwischen und zwar auf besondere Anfrage in Jena von kompetenter Seite mitgeteilt worden ist, geschieht die Ablesung der Höhenskala ausschließlich durch Lupen, worauf ich in einer entsprechenden Notiz in der *Zeitschrift für Feinmechanik* berichtigend hinweisen werde.

Zu Nr. 3. Diese Feststellung kann sich höchstens auf den Schlußsatz der Fußnote 5) auf S. 89 meines Aufsatzes beziehen, in welchem es selbstverständlich heißen muß: weil teils punktweise Auswertung; denn daß der Stereoautograph (Modell 1914) auch von gekippten Normalaufnahmen die Schichtlinien fortlaufend zu zeichnen gestattet, während die Situation punktweise dargestellt werden muß, habe ich auf derselben Seite meines Aufsatzes ausdrücklich angegeben und zwar unter Berufung auf Lüscher, der in der bereits angeführten Arbeit auf S. 12 schreibt: „Es lassen sich somit von gekippten Normalaufnahmen Höhenschichtenpläne in einfacher Weise automatisch herstellen, während Situation nur punktweise unter jedesmaliger Hinzufügung der von der Höhe abhängigen Abstandsverbesserung $\Delta A = Y \operatorname{tg} \mu$ dargestellt werden kann."

Auch Herr Prof. Hugershoff schreibt in seiner Entgegnung auf das Referat des Herrn Dr. v. Gruber, daß die Modelle 1911 und 1914 bei starker Einschränkung hinsichtlich der Neigung der Aufnahme nur eine automatische Schichtlegung, nicht aber eine automatische Zeichnung der Situationslinien zulassen, was von Herrn Dr. v. Gruber nicht beanstandet wird.

Dresden, 3. Februar 1923. *H. Krebs.*

Bücherbesprechungen.

Adolf Thomälen, Kurzes Lehrbuch der Elektrotechnik, 9. Aufl. 8°. 396 S. mit 555 Textbildern. Berlin, J. Springer, 1922.

Das bekannte Lehrbuch von Thomälen ist in neunter Auflage mit einigen Erweiterungen und wesentlichen Verbesserungen erschienen. Von den Abänderungen seien folgende hervorgehoben.

In dem Abschnitt über Leitungsberechnung beschränkt sich Verf. auf die Darstellung der Entlastung der Strecken und die Aufstellung der Knotengleichungen, unter Verzicht auf die Umformungen nach Frick und Kenelly. Zur Lösung der Knotengleichungen wird die einfache Elimination benutzt.

Zur Ermittlung der Spannungen und Ströme bei verteilter Selbstinduktion und Kapazität wird neben dem angenäherten Verfahren auch die genaue Rechnung gebracht.

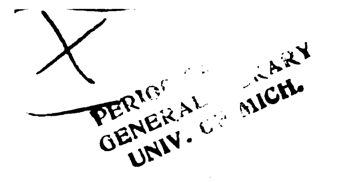
Bei den Ausgleichsvorgängen wird der Strom beim Einschalten auf eine Gleichstromquelle auch bei veränderlicher Durchlässigkeit ermittelt. Damit wird gleichzeitig ein Beispiel für die zeichnerische Lösung einer Differentialgleichung gegeben.

Beim Transformator wird die Gegenschaltung und die Rückarbeitung berücksichtigt. Auf der Grundlage des topographischen Verfahrens wird das Parallelschalten von Transformatoren und das Synchronisieren von Drehstrommaschinen behandelt. *Alb.*

Elis Strömgren, Astronomische Miniaturen. Aus dem Schwedischen übersetzt von K. F. Bottlinger. Kl. 8°. 87 S. mit 14 Abbild. Julius Springer, Berlin 1922.

Das kleine Buch, vom Verfasser Hugo von Seliger zugeeignet, soll weitere Kreise für die neuesten Errungenschaften der astronomischen Forschung, namentlich auf dem Gebiete der Stellarastronomie, interessieren. In vollendeter Form spricht der Verfasser u. a. über die Stellung des Menschen im Weltall, über die Kometen, die Sonne, die Grundbegriffe der modernen Stellarastronomie, Michelsons Interferenz-Meßmethode und über die Entwicklungsgeschichte der Sterne. Dies Werkchen darf als Muster populärer Darstellungskunst gelten. *G.*

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.



ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

5. Heft: Mai.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1923.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von je M. 1600,— für die Monate Mai u. Juni 1923 zuzüglich Bezugsgebühren bezogen werden. Über die Auslandspreise s. Beilage im Februarheft.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt Anzeigen gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 1450,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30 %	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. h. c. H. **Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. R. **Straubel**,
Dr. F. **Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **Mai 1923.** Fünftes Heft.

Der Hildebrand-8 cm-Theodolit mit Schraubenmikroskopen und seine Verwendung bei Stadtvermessungen.

Von

Karl Lüdemann in Freiberg i. Sa.

(Mitteilung aus den Werkstätten für wissenschaftliche Präzisionsinstrumente der Max Hildebrand G. m. b. H. in Freiberg i. Sa.)

1. Gegenstand der Untersuchung.

Das geodätische Schrifttum ist nicht gerade reich an Mitteilungen über die Untersuchung von tragbaren geodätischen Instrumenten, deren Kreise durch Schraubenmikroskope abgelesen werden. Das ist in erster Linie wohl darauf zurückzuführen, daß man nach den Ausführungen von O. Schreiber, der in seinen beiden klassischen Arbeiten[1]) alle die Winkelmessung berührenden instrumentellen Fehlereinflüsse sorgfältig in Rechnung stellte, „die Teilungsfehler — wenigstens soweit sie nicht einen regelmäßigen Charakter haben — traditionell für unbedeutend gegen die Totalfehler der einzelnen Beobachtungen zu halten gewohnt ist“[2]). Zwar haben wir aus neuerer Zeit die wichtigen Untersuchungen von Kreisteilungen durch G. Förster[3])[4]), J. Spanuth[5]) und Hk. J. Heuvelink[6]), aber über eine Gesamtuntersuchung eines kleineren Instrumentes ist seit der bekannten Arbeit von F. R. Helmert „Einige Nachrichten über einen Mikroskop-Theodolit“ von 160 mm Teilungsdurchmesser, die im Jahre 1875 veröffentlicht[7]) wurde, nicht mehr berichtet worden. Die bekannte Untersuchung von A. Nagel[8]) bezieht sich auf ein Universalinstrument, dessen Grundkreis 316 mm Teilungsdurchmesser hat.

---

[1]) a) O. Schreiber, Über die Anordnung von Horizontalwinkel-Beobachtungen auf der Station. *Zeitschr. f. Verm.* **7.** *S. 209—240. 1878.* b) O. Schreiber, Richtungsbeobachtungen und Winkelbeobachtungen. *Zeitschr. f. Verm.* **8.** *S. 97—149. 1879.*

[2]) a. a. O. (Anm. 1b) S. 118.

[3]) G. Förster, Untersuchung zweier Teilkreise der Firmen G. Heyde und M. Hildebrand auf einem Wanschaffschen Teilkreisprüfer. *Diese Zeitschr.* **33.** *S. 10—19, 39—51. 1913.*

[4]) G. Förster, Kreisteilungsuntersuchungen. Berlin 1917. Referat in *dieser Zeitschr.* **42.** *S. 377. 1922.*

[5]) J. Spanuth, Untersuchung eines automatisch geteilten Kreises. Braunschweig 1913.

[6]) Hk. J. Heuvelink, Bestimmung des regelmäßigen und des mittleren zufälligen Durchmesser-Teilungsfehlers bei Kreisen von Theodoliten und Universalinstrumenten. *Zeitschr. f. Verm.* **42.** *S. 441—452. 1913.*

[7]) *Zeitschr. f. Verm.* **4.** *S. 327—341. 1875.*

[8]) A. Nagel, Mitteilungen aus dem Gebiete der Geodäsie. 16. Das Repsoldsche Universalinstrument. *Civiling.* **33.** *S. 231—258. 1887.*

Es kommt hinzu, daß die Verwendung von Schraubenmikroskopen im allgemeinen auf Kreise größeren Durchmessers beschränkt geblieben ist. So sagte z. B. G. Heyde in seiner Abhandlung über einen „Theodolit mit neuer mikrometrischer Kreisablesung" im Jahre 1888[1]):

> „Wenn auch das zusammengesetzte Schraubenmikroskop unstreitig das vorzüglichste Hilfsmittel zur genauen Ablesung von Kreisteilungen ist, so bleibt seine Anwendung doch immer auf Winkelmeßinstrumente von gewisser Größe beschränkt. Kleine Theodolite mit Kreisen von weniger als 15 cm Durchmesser können mit solchen Mikroskopen nicht mehr gut eingerichtet werden, sie würden die Instrumente unbequem, unhandlich und für den Transport unpraktisch machen."

Dieser Ansicht schließt sich R. Hugershoff in seiner 1911 in Dresden verlegten „Anleitung zum Gebrauch geodätischer Instrumente der Firma Gustav Heyde[2])" an.

Die nachstehenden Ausführungen betreffen einen mit Schraubenmikroskopen ausgestatteten Theodolit mit nur 80 mm Durchmesser des Grundkreises.

2. Das Instrument.

1. Das Instrument gehört zur Reihe der kleinen Hildebrand-Theodolite, deren Grundkreis von 80 mm Durchmesser der Teilung zunächst durch zwei Nonien von 60″[3]) oder 30″[4]) Angabe, später auch durch Strich-[5]) oder Skalenmikroskope[6]) abgelesen wurde. Max Hildebrand trug bei der fortschreitenden Ausgestaltung dieser kleinen handlichen Instrumente dem auch im Vermessungswesen über und unter Tage sich immer mehr auswirkenden Gedanken Rechnung, daß jede technische Arbeit mit möglichst hohem Wirkungsgrad, also so wirtschaftlich als möglich, auszuführen ist.

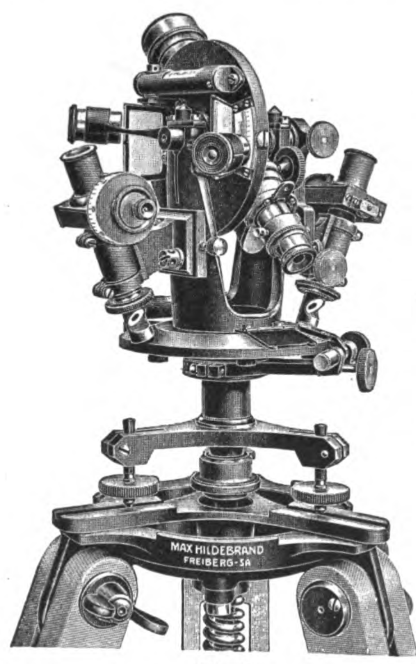


Fig. 1.

Im Jahre 1919 wurde die Reihe der 8 cm-Theodolite durch ein solches Instrument mit Schraubenmikroskopen abgeschlossen.

2. Das in Fig. 1 dargestellte Instrument ähnelt vollkommen der üblichen Ausführungsform des 8 cm-Theodolits.

---

1) *Zeitschr. f. Verm.* **8**. *S. 171. 1888.*

2) *S. 5.*

3) K. Lüdemann, Die kleinsten Hildebrand-Nonientheodolite. *Allg. Verm.-Nachr.* **35.** *S. 78—83. 1923.*

4) K. Lüdemann, Der 8-cm-Nonientheodolit von M. Hildebrand. *Mitt. a. d. Markscheidew. 1914. S. 3—13, 62—69.*

5) a) K. Lüdemann, Die kleinsten, mit Strichmikroskopen ausgestatteten Hildebrand-Theodolite. *Mitt. a. d. Markscheidew. 1921. S. 19—33.* b) K. Lüdemann, Versuche zur Feststellung der Größe und des Verlaufes des regelmäßigen Teiles des Schätzungsfehlers bei Strichmikroskopen. *Allg. Verm.-Nachr.* **34.** *S. 551—560. 1922.* c) K. Lüdemann, Der unregelmäßige Schätzungsfehler bei Strichmikroskopen. *Diese Zeitschr.* **43.** *S. 25. 1923.*

6) K. Lüdemann, Der Ablesefehler bei Theodoliten mit Skalenmikroskopen. *Diese Zeitschr.* **42.** *S. 285—300. 1922.*

Über die Teilung des von Hand verdrehbaren Grundkreises bei sexagesimaler und zentesimaler Teilung gibt die Tafel 1 Aufschluß.

Tafel 1.

	sexagesimal	zentesimal
Teilungseinheit	10′	10`
1° bzw. 1ᵍ	0,698 mm	0,628 mm
1′ „ 1`	0,0116 mm	0,0063 mm
1″ „ 1``	0,194 μ	0,063 μ
1 μ	5″,16	15``,87
1 R	10′ = 600″	10` = 1000``
1 p	10″	10``
Striche auf 1 mm	8,6	15,9

Der Höhenkreis mit 70 mm Teilungsdurchmesser wird bei sexagesimaler Teilung bei 30″ Nonienangabe an 2 Nonien, bei 60″ Nonienangabe an 1 Nonius, bei zentesimaler Teilung bei 100`` Nonienangabe an 2 Nonien, bei 200`` Nonienangabe an 1 Nonius abgelesen, falls nicht Ablesung durch 1 oder 2 Strichmikroskope gewählt wird.

Soll das Instrument auch bei Arbeiten verwendet werden, bei denen der erforderlichen Genauigkeit wegen die Benutzung eines Schraubenmikroskopes unwirtschaftlich wäre, so erhält es am Grundkreis ein drittes und zwar Strichmikroskop.

Über das Fernrohr, das mit zwei orthoskopischen, in der Regel mit 11- und 18maliger Vergrößerung, geliefert wird, gibt die Tafel 2 Auskunft.

Tafel 2.

Öffnung des Objektives	20 mm	
Brennweite des Objektives	120 mm	
Brennweite des Okulars	11,3 mm	6,7 mm
Gesamtvergrößerung	10,6 ×	17,9 ×
Austrittspupille	1,9 mm	1,1 mm
Relative Helligkeit	3,6	1,2
Gesichtsfeld	2°,6	2°,0
Kürzeste Zielweite	1,2 m	

Das Fadenkreuz besteht bei dem untersuchten Instrument in zwei im Abstande von 92″,8 aufgezogenen Vertikalfäden und drei Horizontalfäden, von denen die beiden äußeren als Distanzfäden (Multiplikationskonstante 100) zu benutzen sind.

Die Mikroskope mit 43facher linearer Vergrößerung zeigen die bewährte Beleuchtungseinrichtung der Hildebrand-Werkstätten; sie werden, falls das Instrument unter Tage benutzt werden soll, durch je einen Glaszylinder staub- und wasserdicht abgeschlossen.

Es wiegen: das Instrument ohne Höhenkreis 1,70 kg, mit Höhenkreis 2,00 kg; der Kasten für das Instrument mit und ohne Höhenkreis einschl. Zubehör (Lot mit Halter, Öl in Glasfläschchen und Sicherheitsholzbüchse, Justierstift, Staubpinsel, Schraubenzieher) und Handgriff 2,07 kg; Stativ mit Bronzekopf für 6 cm Verschiebung des Instrumentes mit drei festen Beinen 3,30 kg, mit drei einschiebbaren Beinen 3,63 kg.

Die Außenmaße des Instrumentenkastens betragen: Höhe 24,5 cm; Breite 20,5 cm; Tiefe 19,5 cm.

3. Die Träger für die Mikroskope sind aus besonders geeignetem, kalt verfestigtem Material hergestellt, so daß eine Veränderung der Justierung nur durch

einen scharfen Stoß oder Schlag zu erwarten ist. Um aber etwa noch bestehende Bedenken zu zerstreuen, können die Mikroskope in eine noch festere Verbindung mit dem Körper der Fernrohrstütze gebracht werden. Diese Konstruktion bedingt allerdings die Aufgabe der bei Hildebrand-Instrumenten sonst üblichen Beleuchtungseinrichtung und ihre Ersetzung durch eine Lichtzuführung von oben, durch eine sogenannte Zenitbeleuchtung.

Eine Beleuchtung dieser Art ist seit über 50 Jahren bekannt und in feinmechanischen Betrieben weit verbreitet. Max Hildebrand brachte sie 1873 bei seinen selbstgebauten Kreisteilmaschinen an und rüstete im Jahre 1878 mehrere 1876 für nordamerikanische Vermessungsbehörden konstruierte und gebaute große Mikroskoptheodolite mit ihnen aus. J. Wanschaff verwendete sie an seinem 1879[1]) konstruierten Kreisteilungsuntersucher[2]). Im Jahre 1901 griff dann die Firma Otto Fennel Söhne in Kassel den Gedanken wieder auf bzw. erfand die Konstruktion neu, und ließ sie sich durch ein D.R.P.[3]) schützen.

Es liegt nahe, auf die alte[4]), vor anderthalb Jahrzehnten von C. Pulfrich[5]) wieder aufgenommene Verwendung eines Glaskreises zurückzugreifen und ihn für Arbeiten unter Tage von unten her elektrisch zu beleuchten. Versuchsinstrumente dieser Art befinden sich z. Zt. in der praktischen Erprobung[6]).

3. Untersuchung des Instrumentes.

1. Die Untersuchung des Instrumentes ist ausschließlich so ausgeführt, daß keinerlei Hilfsmittel verwendet wurden, die sich nicht am Instrument befinden oder doch jedem Beobachter ohne weiteres zur Verfügung stehen. Sie bezieht sich auf ein Instrument mit sexagesimaler Teilung.

Bei der gewählten Einrichtung des Mikroskopes ist bei der sexagesimalen Teilung 1 R = 10′ = 600″. Die Trommeleinheit (1 pars) ist bei der sexagesimalen Teilung 10″ = 1,47 mm, bei der zentesimalen 10ʺ = 0,88 mm. Der geübte Beobachter wird in beiden Fällen $^1/_{20}$ der Trommeleinheit schätzen können.

Zur Ermittelung des mittleren unregelmäßigen Einstell- und Ablesefehlers m_a der Mikroskope wurden Striche der Kreisteilung je 25mal nacheinander von zwei Beobachtern bei derselben Trommelstellung bei Beleuchtung durch Tageslicht und mit derjenigen Sorgfalt eingestellt, die man bei praktischen Messungen mit dem In-

[1]) O. Schreiber, Untersuchung von Kreisteilungen mit zwei und vier Mikroskopen. *Diese Zeitschr.* ***6.*** *S. 1. 1886.*

[2]) a) W. Erfurth, Die geodätischen Instrumente S. 74—76, Abb. 29. In L. Loewenherz, Bericht über die wissenschaftlichen Instrumente auf der Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1879. Berlin 1880. b) Jordan-Reinhertz, Handbuch der Vermessungskunde. Band III. 5. Auflage. Stuttgart 1907. *S. 50.*

[3]) D.R.P. Nr. 131 212 Kl. 42c v. 30. X. 1901. Beleuchtungsvorrichtung an Ablesemikroskopen für die Horizontalkreise astronomischer, geodätischer und ähnlicher Instrumente.

[4]) Siehe z. B.: a) L. M. Rutherford, Ein Glaskreis für Winkelmessungen. *Repert. für Experimentalphysik usw.* von Ph. Carl. ***13.*** *S. 421—423.* München 1877. b) A. und R. Hahn, Patent-Glasmikrometer zum direkten Ablesen sehr kleiner Unterabteilungen bei Längen- und Kreisteilungen. *Zeitschr. f. Verm.* ***9.*** *S. 202—207. 1880.*

[5]) C. Pulfrich, Über einige Neueinrichtungen für Längen- und Kreisteilungen mit Mikroskop-Ablesung. *Diese Zeitschr.* ***27.*** *S. 369—373. 1907.*

[6]) Es sei nur beiläufig darauf hingewiesen, daß ein Glaskreis eine bislang nicht genügend ausgenutzte Möglichkeit einer erheblichen Steigerung der Ablesegenauigkeit besitzt. Versuche hierüber sind im Gange. Andererseits besitzen Glaskreise doch auch erhebliche Nachteile.

strument anzuwenden pflegt. Die Ergebnisse gibt die Tafel 3, wozu noch zu bemerken ist, daß der Beobachter Ka. ein Feinmechaniker ist und daß sich der Zeitaufwand Lü : Ka wie 1 : 1,7 verhält.

Tafel 3.

Strich	Beobachter Lü. Mikr. A ″	Beobachter Lü. Mikr. B ″	Beobachter Ka. Mikr. A ″	Beobachter Ka. Mikr. B ″
1°	± 1,05	± 1,03	± 0,88	± 1,07
1/2°	1,02	0,94	0,92	1,03
1/6°	1,02	1,11	1,10	0,91
Mittel	1,03	1,03	0,97	1,00
Hilfsstrich	0,87	0,72	0,95	0,72

Aus der Tafel 3 folgt, daß unter den angegebenen Verhältnissen im Mittel

$$m_a = \pm 1'',00 = \pm 0,1\,\mathrm{p} = \pm 0,00167\,\mathrm{R} = \pm 0,194\,\mu$$

zu setzen ist.

Gleiche Beobachtungsreihen für den zur Schraubenuntersuchung angebrachten Hilfsstrich ergaben bei elektrischer Beleuchtung und großer Sorgfalt im Mittel

$$m_a = \pm 0'',82,$$

ein Wert, der noch nicht die untere Grenze darstellt.

2. m_a[1]) läßt sich ferner gut ermitteln aus Doppelmessungen von Teilungseinheiten des Kreises. Für jedes Mikroskop wurden bei elektrischer Beleuchtung und mit Anwendung großer Sorgfalt je 100 Teilungseinheiten bei regelmäßiger Verteilung über den Kreisumfang in getrennten Reihen doppelt gemessen. Aus Beobachtungsunterschieden findet sich für Beobachter Lü.

	Mikr. A	Mikr. B	Mittel
$m_a =$	$\pm 0'',69$	$\pm 0'',52$	$\pm 0'',60$.

Beobachter Ka. hat für jedes Mikroskop 144 Doppelmessungen ausgeführt mit folgendem Ergebnis:

	Mikr. A	Mikr. B	Mittel
$m_a =$	$\pm 0'',76$	$\pm 0'',77$	$\pm 0'',76$.

3. Für die weitere Untersuchung wurde das Mikroskop A in Nullstellung nacheinander auf 0°, 5° usw. bis 355° eingestellt und jeweils die Nullstellung des Mikroskopes B in ihrer Lage zum Kreis durch Messung bestimmt. Man findet so in bekannter Weise[2]) den „Knickungswinkel" der Mikroskop-Nullpunkte δ;

über m_δ einen weiteren Wert für m_a;

den Höchstwert der Exzentrizität zwischen Limbus- und Alhidadenachse ε_m;

die lineare Exzentrizität e;

ihre Lage im Kreis, ausgedrückt durch den Durchmesser φ_0;

den mittleren Fehler m_ε eines beobachteten Wertes ε.

[1]) m_a wird im Laufe der Untersuchung im allgemeinen als Ausdruck des mittleren unregelmäßigen Einstell- und Ablesefehlers eines Mikroskopes benutzt, jedoch sind nicht alle so bezeichneten Werte bei strenger Auffassung ganz frei von regelmäßigen Fehlerteilen. Praktisch ist das aber bedeutungslos.

[2]) a) W. Jordan - C. Reinhertz - O. Eggert, Handbuch der Vermessungskunde. Bd. II. 7. Aufl. Stuttgart 1908. *S. 255—261.* 8. Aufl. Stuttgart 1914. *S. 281—284.* b) R. Helmert, Die Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate usw. 2. Aufl. Leipzig und Berlin 1907. *S. 435—442.*

Die Untersuchung wurde doppelt mit großer Sorgfalt ausgeführt. Bei der zweiten Beobachtungsgruppe war der Grundkreis um $20^0 0'$ gegen die erste Lage verstellt worden.

Für jede Untersuchung sind vier Reihen beobachtet worden, deren Mittel in die Ausgleichung eingingen. Die vier Einzelwerte sind zur Berechnung des mittleren Fehlers m_d einer Beobachtung des scheinbaren Zeigerabstandes verwendet worden. Aus m_d findet sich m_a nach der Beziehung

$$m_a = \frac{m_d}{\sqrt{2}}.$$

Das Mittel aus je vier beobachteten Einzelwerten, das in die Ausgleichung eingeht, hat einen mittleren Fehler

$$m_{d\,(\text{Mittel})} = \frac{m_d}{\sqrt{4}}.$$

Die einzelnen Werte δ und ε sind die halbe Summe oder Differenz von zwei Mitteln aus vier Einzelbeobachtungen. Man kann den mittleren Fehler zu

$$m_\delta = m_\varepsilon = \frac{m_{d\,(\text{Mittel})}}{\sqrt{2}}$$

annehmen.

Die so gefundenen und in Tafel 4 wiedergegebenen Zahlen sind ein Maßstab der inneren Genauigkeit der vier Beobachtungsreihen einer Gruppe.

Tafel 4.

	Untersuchung 1 "	Untersuchung 2 "
m_d	± 0,83	± 0,81
m_a	0,59	0,57
$m_{d\,(\text{Mittel})}$	0,42	0,40
$m_\delta = m_\varepsilon$	0,30	0,28

Die Ergebnisse der Ausgleichungsrechnung gibt

Tafel 5.

	Reihe 1	Reihe 2
δ	14",8	13",5
m_a	± 0",74	± 0",72
ε_m	2",35 ± 0",13	2",14 ± 0",15
e	0,23 μ	0,21 μ
φ_0	87°51' ± 2°59'	66°57' ± 4°2'
m_ε	0",52	0",64

4. Für m_a liegen nunmehr folgende Bestimmungen vor:

a) für Beobachtung bei Tageslicht und mit derjenigen Sorgfalt, die man bei praktischen Messungen anzuwenden pflegt

$$m_a = \pm 1'',0;$$

b) für Beobachtung bei elektrischer Beleuchtung und großer Sorgfalt

$$m_a = \pm 0'',82 \qquad 0'',60 \qquad 0'',76 \qquad 0'',58 \qquad 0'',73$$

oder mit einfacher Mittelbildung

$$m_a = \pm 0'',70.$$

5. Von größter Bedeutung für die Leistungsfähigkeit des Instruments ist der Mikroskopkasten, dessen äußere Abmessungen hier nur 24 × 32 mm betragen.

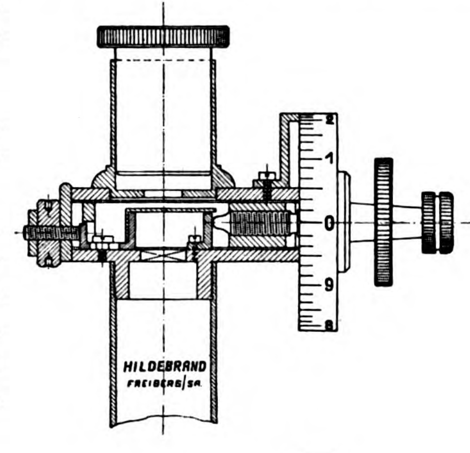
Die von Max Hildebrand angegebene Konstruktion ist in Fig. 2 dargestellt, während Fig. 3 den hier verwendeten Mikroskopkasten zeigt.

Auf Einzelheiten der in den Grundzügen allgemein bekannten[1]) Konstruktion soll hier ebensowenig eingegangen werden, wie auf einen Vergleich mit derjenigen anderer Werkstätten[2]), denn bei kaum einem anderen Instrumentteil wird die Leistungsfähigkeit außer durch die Konstruktion so maßgebend durch die Vollkommenheit der feinmechanischen Ausführung beeinflußt, so daß jeder Vergleich hinken müßte.

An die Meßeinrichtung eines brauchbaren Schraubenmikroskopes sind folgende Ansprüche zu stellen:

a) Alle Stahlteile sind aus spannungsfreiem, dazu besonders vorbereitetem und geeignetem Material herzustellen.

b) Das Gewinde der hinreichend lang geführten Schraubenspindel und der dazugehörigen Mutter ist genau zu schneiden und sorgfältig zu schleifen, so daß fortschreitende und regelmäßige Fehler aus dieser Fehlerquelle möglichst vermieden werden.



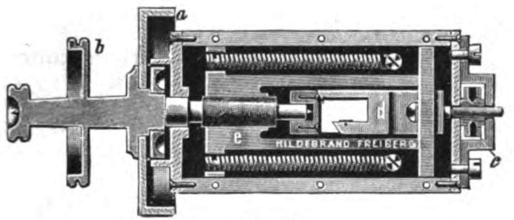


Fig. 2.

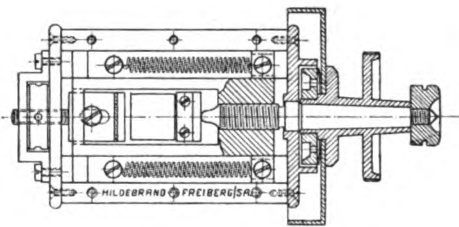


Fig. 3.

c) Die Mikrometerschraube soll in der genügend lang zu bemessenden Einführung in den Kasten leichte Führung mit Öldichtung haben.

d) Die Spitze der Schraubenspindel soll genau zentrisch und in der richtigen Form hergestellt und sorgsam poliert werden.

e) Die aus vorsichtig und richtig zu härtendem, im Gefüge ganz gleichmäßigem Stahl hergestellte hochglanz polierte Stützfläche für die Spitze der Mikrometerschraube soll eine durchaus ebene Fläche besitzen, die scharf senkrecht zur

---

[1]) Siehe z. B. a) Ch. A. Vogler, Abbildungen geodätischer Instrumente. Berlin 1892. *S. 35* und Tafel 23. b) L. Ambronn, Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde Bd. I. Berlin 1899. *S. 137* und Abb. 153—154.

[2]) z. B. A. Fennel, Über einige Verbesserungen an Schrauben-Mikroskop-Theodoliten. *Zeitschr. f. Verm.* **32.** *S. 574—578. 1903.* A. Fennel, Geodätische Instrumente. Heft III: Mikroskop-Theodolite. Stuttgart 1912. *S. 23—25.* Aus geschichtlichen Gründen wäre hierzu noch zu nennen: a) Ch. August Vogler, Lehrbuch der praktischen Geometrie. Teil I. Braunschweig 1885. *S. 155—162* und Tafel 1. b) F. Hartner-J. Wastler-E. Doležal, Hand- und Lehrbuch der niederen Geodäsie. Bd. I. Wien 1910. *S 412—415,* Abb. 244 (sog. Wiener Konstruktion).

Achse der Schraubenspindel zu stellen ist. Die bestgeschnittene Mikrometerschraube ist unbrauchbar, wenn sie „Schwindel" hat.

f) Ein vor der Stützfläche gelagertes Führungsröhrchen, durch welches die Schraube am Ausweichen gehindert und ihre Lage gesichert werden soll, darf den Spitzenteil der Spindel nicht zu eng führen.

g) Der Schlitten soll im Kasten an den kleinen Gleitflächen eine so feine Führung haben, daß ein Ecken ausgeschlossen ist.

h) Die sachgemäß aufgehängten Spiralfedern von zweckentsprechender Länge sind in ihrer Eigenkraft der Konstruktion des Mikroskopkastens anzupassen. Ein Verecken des Schlittens durch sie muß ausgeschlossen sein[1]).

i) Die Trommel ist ohne Exzentrizität und so anzubringen, daß ihre Lage zur Schraubenspindel nur absichtlich geändert werden kann.

k) Die Trommelteilung soll klar und deutlich sein, aber doch nicht solche Strichstärke besitzen, daß dadurch einseitige Schätzungsfehler hervorgerufen oder begünstigt werden[2]).

Allen diesen Ansprüchen genügt die hier verwendete Konstruktion, die, wie Fig. 3 zeigt, sehr einfach gehalten ist.

Bei Feinmeßschrauben der hier benutzten Art, bei denen stets nur sehr wenige Umdrehungen R verwendet werden, spielt der fortschreitende Fehler keine besondere Rolle. Bei einer sehr sorgfältigen Untersuchung des ganzen überhaupt je in Frage kommenden Schraubenteiles ließen sich bei beiden Mikroskopen des Instruments auch nur Spuren eines fortschreitenden Fehlers nicht feststellen.

Für die Ermittelung der periodischen Fehler ist in der Kreisteilung ein Hilfsstrich vorgesehen, der ein Hilfsintervall Δ von $^2/_3 R$ begrenzt.

Bezeichnet man die „Korrektion", die „Berichtigung" oder „Verbesserung" einer Trommelablesung mit k, so hat man[3])

$$k = s + A_1 \cos t + A_2 \cos 2\,t + \cdots$$
$$+ B_1 \sin t + B_2 \sin 2\,t + \cdots,$$

worin s die Verbesserung wegen des fortschreitenden Fehlers, die hier $= 0$ zu setzen ist, und t die in R ausgedrückten und mit 2π multiplizierten Bruchteile der Ablesung sind. Wählt man t der Reihe nach $= 0, 0{,}1, \ldots, 0{,}9\,R$ und das Hilfsintervall $\Delta \simeq \frac{2}{3} R = 240^0$, so erhält man eine besonders einfache Form der Ausgleichung[4]).

Für jedes t wurden mit der größten Sorgfalt bei elektrischer Beleuchtung 16 Messungen ausgeführt. Die gefundenen Werte δ[5]) sind als Abweichungen von $\Delta \simeq 6'\,40''$ in Tafel 6 nachgewiesen.

---

[1]) Ch. A. Vogler, Abbildungen usw. *S. 35.*

[2]) Es ist natürlich ein Trugschluß oder eine Selbsttäuschung, wenn man glaubt, durch Vergrößerung des Trommeldurchmessers über das übliche Maß hinaus m_a wesentlich zu verkleinern. Beträgt die Einheit der Trommelteilung $\sim$ 1 mm, so lassen sich bequem $^1/_{10}$ und $^1/_{20}$ schätzen. Wer aber, um $^1/_{10}$ der Trommeleinheit richtig zu finden, einen Nonius hierfür benützen zu müssen glaubt, ist wegen gänzlicher Verkümmerung seines Schätzungsvermögens für jede messende Beobachtung ungeeignet. Man findet solche Auswüchse allerdings in der Regel nur in dem noch ganz jungen Meßwesen der Feinmaschinentechnik.

[3]) F. R. Helmert, Ausgleichungsrechnung. *S. 463—473*, insbesondere *S. 464—470.*

[4]) F. R. Helmert, Ausgleichungsrechnung. *S. 467—470.*

[5]) Eine Verwechselung der hier gebrauchten Bezeichnung δ mit dem vorher für den wahren Zeigerabstand verwendeten gleichen Buchstaben ist nicht zu befürchten. Dasselbe gilt von m_δ, dem mittleren Fehler des betreffenden δ.

Tafel 6.

t	Mikroskop A				Mikroskop B			
	δ	m_δ	$\Delta-\delta$		δ	m_δ	$\Delta-\delta$	
	″	″	″	$R/1000$	″	″	″	$R/1000$
0	−0,16	±0,15	+0,225	+0,37	+0,06	±0,13	+0,009	+0,02
0,1	+0,03	0,16	+0,035	+0,06	±0,00	0,12	+0,015	+0,03
0,2	±0,00	0,16	+0,065	+0,11	−0,06	0,14	+0,021	+0,04
0,3	+0,12	0,20	−0,055	−0,09	±0,00	0,11	+0,015	+0,03
0,4	+0,26	0,15	−0,195	−0,32	−0,03	0,12	+0,045	+0,08
0,5	+0,16	0,14	−0,095	−0,16	±0,00	0,14	+0,015	+0,03
0,6	+0,12	0,11	−0,055	−0,09	+0,06	0,15	−0,045	−0,08
0,7	+0,06	0,10	+0,005	+0,01	−0,06	0,14	+0,075	+0,12
0,8	+0,06	0,14	+0,005	+0,01	+0,12	0,12	−0,105	−0,18
0,9	±0,00	0,10	+0,065	+0,11	+0,06	0,11	−0,045	−0,08
	+0,065	0,14			+0,015	0,13		

Schon eine Betrachtung der Reihen der δ und $\Delta-\delta$ zeigt, daß bei beiden Mikroskopen die periodischen Ungleichheiten sich neben dem mittleren zufälligen Einstell- und Ablesefehler m_a selbst dann kaum wesentlich bemerkbar machen können, wenn sie, entgegen der üblichen Gewohnheit, durch das angewendete Beobachtungsverfahren nicht ausgeschaltet werden sollten.

Trotzdem die Mehrzahl der Werte δ kleiner ist als der zugehörige mittlere Fehler m_δ, soll doch eine Ausgleichung vorgenommen werden. Es fand sich für

Mikr. A

$$\Delta = 6'\,40'',06$$
$$k' = +0,020 \cos t - 0,035 \cos 2t + 0,128 \sin t + 0,013 \sin 2t$$
$$m'_\delta = \pm 0'',067.$$

Mikr. B

$$\Delta = 6'\,40'',02$$
$$k' = -0,040 \cos t - 0,022 \cos 2t - 0,024 \sin t - 0,018 \sin 2t$$
$$m'_\delta = \pm 0'',057.$$

Wie der mittlere Fehler m_δ einer Beobachtungsgröße nach der Ausgleichung zeigt, ist die Darstellung durch 4 Glieder der trigonometrischen Reihe ausreichend.

Geht man zur Verbesserung k einer Trommelablesung, ausgedrückt in Sekunden, über, so hat man als Endergebnis für

Mikr. A

$$k = 0,075 \sin(t + 248^0,9) + 0,022 \sin 2(t + 115^0,3)$$
$$\pm 0,017 \quad \pm 13^0,2 \quad \pm 0,017 \quad \pm 45^0,0.$$

Mikr. B

$$k = 0,027 \sin(t + 118^0,4) + 0,016 \sin 2(t + 86^0,4)$$
$$\pm 0,015 \quad \pm 30^0,9 \quad \pm 0,015 \quad \pm 52^0,2.$$

Vom praktischen Standpunkt aus kann man die Mikrometereinrichtung von Mikr. B als fehlerfrei, die von Mikr. A als nahezu fehlerfrei bezeichnen. Ohne auf

Einzelheiten einzugehen, seien hier zum Vergleich nur die Arbeiten von W. Westphal[1]), A. Nagel[2]), C. Reinhertz[3]) und W. Jordan[4]) genannt.

6. Der mittlere zufällige Fehler m_{r_1} eines Striches der Teilung des Grundkreises kann dadurch ermittelt werden, daß man die Größe der Teilungseinheit mit der Mikroskopschraube an verschiedenen Kreisstellen bestimmt. Damit findet man zunächst den Fehler D in der Abstimmung der Mikroskope und weiter aus den zwei zufälligen Teilungsfehlern, die bei jeder Intervallmessung vorkommen, einen Näherungswert für m_{r_1}. Ergebnisse:

Beob. Lü. Für jedes Mikr. 200 Messungen.

Mikr. A $D = 600'',38 \pm 0'',07$ Mikr. B $D = 600'',04 \pm 0'',06$
$m_a = \pm 0'',60$ $m_{r_1} = \pm 0'',24$

Beob. Ka. Für jedes Mikr. 288 Messungen.

Mikr. A $D = 600'',04 \pm 0'',06$ Mikr. B $D = 600'',01 \pm 0'',07$
$m_a = \pm 0'',76$ $m_{r_1} = \pm 0'',21$

Gesamtmittel $m_{r_1} = \pm 0'',22$.

Im Mittel der Ablesung an zwei Mikroskopen darf man also erwarten

$$m_r = \pm 0'',16.$$

Falls in jedem Mikroskop an den beiden benachbarten Teilstrichen abgelesen wird, ist mit einem Einfluß des mittleren unregelmäßigen Teilungsfehlers zu rechnen von $\pm 0'',11$.

Beob. Ka. beobachtete $1^1/_2$ Jahre später als Beob. Lü.

7. Aus den bei der Bestimmnng der Exzentrizität der Alhidade übrigbleibenden Fehlern läßt sich ein Näherungswert für den mittleren Betrag m_{t_1} eines Teilungsfehlers errechnen[5]). Es fand sich aus

	Reihe 1	Reihe 2	Mittel
$m_{t_1} =$	$\pm 0'',28$	$\pm 0'',39$	$\pm 0'',34$

Für das arithmetische Mittel von zwei im Durchmesser einander gegenüberliegenden Teilstrichen hat man also einen Einfluß der Teilungsfehler von $\pm 0'',24$ zu erwarten.

8. Die Bestimmung des regelmäßigen und des mittleren unregelmäßigen oder zufälligen Durchmesser-Teilungsfehlers erfolgte durch Messung eines Winkels von 45^0 in der Art, wie sie Hk. J. Heuvelink[6]) geschildert hat. Als Ziele verwendet der in der Praxis stehende Beobachter am besten 2 beliebige andere Theodolite, deren Fernrohre in Kollimatorstellung gebracht sind. Wert zu legen ist besonders auf feste Aufstellung von Mikroskoptheodolit und Zielzeichen.

---

[1]) W. Westphal, Übersicht über die Ergebnisse der bisherigen Untersuchung von Mikrometerschrauben. *Diese Zeitschr. 1. S. 149—157, 229—235, 250—257, 397—403. 1881.*

[2]) A. Nagel, a. a. O. *Sp. 23—27.*

[3]) C. Reinhertz, Über die Prüfung der Schraubenmikrometer bei Ablesungsmikroskopen für Theodolit-Kreistheilungen. *Zeitschr. f. Verm. 16. S. 545—553. 1887.*

[4]) W. Jordan-C. Reinhertz, Handbuch der Vermessungskunde Bd. 3. 5. Aufl. Stuttgart 1907. *S. 40—47.*

[5]) Des Verfahrens wegen siehe z. B.: a) R. Helmert, Ausgleichungsrechnnng *S. 435—442.* b) R. Helmert, Mikroskop-Theodolit *S. 329—331.* c) W. Jordan-C. Reinhertz-O. Eggert, Handbuch Bd. II. 8. Aufl. *S. 285—287.*

[6]) a. a. O. *S. 441—452.*

Der Winkel von 45° wurde in 36 Kreislagen (4 Reihen [Gruppen] zu je 9 Kreislagen), jedesmal im Hin- und Rückgang, mit Ablesung bzw. Einstellung der Mikroskope auf je zwei benachbarte Teilstriche bei möglichst stets gleicher Schraubenstellung und in solcher Anordnung gemessen, daß mit der Zeit gleichlaufende Änderungen ausgeschaltet wurden[1]).

In die Berechnung gehen also zwei Satzmittel ein, die zu einem Mittelwert vereinigt werden, von denen jede Gruppe 9 enthält. Sie seien mit p, ihr Mittel mit α bezeichnet[2]).

Da der Winkel α bei unveränderter Kreislage zweimal gemessen worden ist, so besteht die Möglichkeit, aus den vorhandenen n_a Unterschieden v einen etwa vorhandenen konstanten Teil γ aus der Beziehung

$$\gamma = \frac{[v]}{n_a}$$

nachzuweisen.

Die einzelne Beobachtung einer Richtung erhält das Gewicht 1. Der mittlere Beobachtungsfehler heiße μ; er findet sich aus

$$\mu^2 = \frac{1}{4}\left(\frac{[vv]}{n_a} - \gamma^2\right).$$

Schließlich sei der mittlere Teilungsfehler bezeichnet mit τ, τ', τ'', τ''', ..., je nachdem der nach einer trigonometrischen Reihe der Form

$$a \sin(2\varphi + A) + b \sin(4\varphi + B) + c \sin(6\varphi + C) + \dots$$

berechnete periodische, also regelmäßige Anteil des Teilungsfehlers gar nicht beachtet oder mit 1 bzw. 2 bzw. 3 Gliedern in Rechnung gestellt wird. τ ist also der mittlere vollständige (totale), τ' bzw. τ'' bzw. τ''' der mittlere zufällige Teilungsfehler in der Gewichtseinheit. Der mittlere Beobachtungsfehler in p ist $m = \frac{\mu}{\sqrt{2}}$.

In der Tafel 7 sind die $(p - \alpha)$ nach Größe und Vorzeichen geordnet nachgewiesen. Hinter jedem Bogenwert steht eingeklammert der lineare Wert, ausgedrückt in $^1/_{1000}$ mm, da dieser zu einer vergleichenden Beurteilung von besonderem Wert ist.

Tafel 7.

Zwischen					liegen +	liegen —	liegen zusammen
0",0	(0,0)	und	0",1	(0,019)	5	4	9
0",11	(0,021)	und	0",2	(0,039)	2	1	3
0",21	(0,041)	und	0",3	(0,058)	3	2	5
0",31	(0,060)	und	0",4	(0,078)	3	5	8
0",41	(0,080)	und	0",5	(0,097)	4	2	6
0",51	(0,099)	und	0",6	(0,116)		1	1
0",61	(0,118)	und	0",7	(0,136)	2	2	4
				zusammen	19	17	36

Es fand sich:

$$\gamma = -0'',14$$
$$\mu = \pm 0'',36$$
$$m = \pm 0'',25$$

[1]) Die ganze Anordnung der Messung entsprach der von Hk. J. Heuvelink a. a. O. S. 446—448 angegebenen, worauf Bezug genommen werden muß.

[2]) Die von Hk. J. Heuvelink verwendeten Zeichen sind hier beibehalten worden.

μ und m sind ihrer Größenordnung nach ein Beweis dafür, daß sich der mittlere Zielfehler bei dem hier angewendeten Verfahren (Benutzung von Theodolitfernrohren in Kollimatorstellung, zweckmäßige gleichbleibende Beleuchtung von Instrument und Zielzeichen) genügend klein halten läßt.

Der periodische Durchmesserfehler der Teilung wird (in Sekunden) dargestellt durch die Reihe

$$0{,}247 \sin(2\varphi + 318^0{,}5) + 0{,}050 \sin(4\varphi + 153^0{,}2) + 0{,}038 \sin(6\varphi + 269^0{,}1).$$

Damit fand sich

$$\tau = \pm 0'',197 \quad (0{,}038)$$
$$\tau' = \pm 0'',083 \quad (0{,}016)$$
$$\tau'' = \pm 0'',080 \quad (0{,}016)$$
$$\tau''' = \pm 0'',092 \quad (0{,}018).$$

Wenn also bei jeder einzelnen Beobachtung einer Richtung die beiden Mikroskope an je zwei benachbarten Teilstrichen abgelesen werden, so ist in einer solchen Beobachtung

der mittlere vollständige (totale) Teilungsfehler $= \pm 0'',20$
der mittlere zufällige Teilungsfehler $= \pm 0'',08$.

Diese Zahlen, die mit den im Verlauf dieser Untersuchung bereits gefundenen Näherungswerten gut übereinstimmen, beweisen, zumal im Vergleich mit den von Hk. J. Heuvelink[1]) mitgeteilten Werten, daß die Kreisteilung als „gut" zu charakterisieren ist. Der regelmäßige Teilungsfehler, der schon durch das Glied mit 2φ gut dargestellt wird, ist aus den Beobachtungsergebnissen durch den Wechsel der Kreisstellen leicht auszuschalten. Der unregelmäßige Teilungsfehler ist so klein, daß er eine praktische Bedeutung nicht besitzt.

Wenngleich man das Ergebnis einer einzelnen Untersuchung nicht verallgemeinern soll, so darf man doch schließen, daß die vielfach verbreitete Ansicht, die Teilungen derartig kleiner Kreise ließen sich nicht mit großer Genauigkeit herstellen, nicht grundsätzlich richtig ist.

4. Verwendung des Instruments bei der Kleindreiecksmessung.

1. Um den mittleren Fehler m_r der Messung einer Richtung in einer Fernrohrlage zu finden, wie er bei der Kleindreiecksmessung zu erwarten ist, wurden 10 Richtungen je 25 mal bei Ablesung in nur einem Mikroskop gemessen. Die Messungen geschahen in Gruppe I bei günstigen äußeren Verhältnissen (günstige Beleuchtung, schwaches Flimmern, kein Wind usw.); in Gruppe II bei mittleren äußeren Verhältnissen; in Gruppe III bei ungünstigen äußeren Verhältnissen. Aus den Messungsergebnissen wurde m_r berechnet.

Für jede Gruppe wurde ferner m_a aus je 4 besonderen, zeitlich in die Richtungsmessungen eingeschalteten Reihen von je 25 Beobachtungen, für jede Gruppe also aus 100 Beobachtungen, bestimmt.

Die Ergebnisse nebst den aus

$$m_r^2 = m_a^2 + m_z^2$$

errechneten Werten des mittleren Zielfehlers m_z zeigen die Tafeln 8 und 9.

[1]) a. a. O. S. 450—451.

Tafel 8.

Beob. Lü.

Reihe	Strichlänge	Gruppe I m_a "	Gruppe II m_a "	Gruppe III m_a "
1	lang	± 1,04	± 1,32	± 1,26
2	mittel	1,40	1,00	1,08
3	kurz	1,28	1,25	0,94
4	kurz	0,88	1,06	1,19
Mittel		1,15	1,16	1,12

Tafel 9.

Beob. Lü.

$v = 18$; $m_a = \pm 1'',14$.

Lfd. Nr.	Entfernung km	Zielbezeichnung	Gruppe I m_r "	Gruppe I m_z "	Gruppe II m_r "	Gruppe II m_z "	Gruppe III m_r "	Gruppe III m_z "
1	0,5	Blitzableiter	± 2,31	± 2,01	± 2,11	± 1,78	± 3,40	± 3,20
2	0,6	Blitzableiter	2,07	1,73	2,70	2,45	2,85	2,61
3	0,9	Turmspitze	1,59	1,11	1,94	1,57	2,66	2,40
4	1,4	Turmspitze	2,17	1,85	2,38	2,09	2,83	2,59
5	1,8	Turmspitze	1,86	1,47	2,34	2,04	2,90	2,67
6	1,9	Turmspitze	2,22	1,90	2,42	2,14	3,67	3,49
7	2,7	Türmchen	3,04	2,82	3,19	2,98	5,48	5,36
8	3,0	Dünner Blechschornstein	2,29	1,98	3,86	3,69	3,42	3,22
9	3,5	Turmspitze	2,00	1,64	3,12	2,90	2,99	2,76
10	5,3	Turmspitze	2,89	2,66	3,42	3,22	4,76	4,62
		Mittel	2,24	1,92	2,75	2,49	3,49	3,29

Die in der Tafel 9 für m_r und m_z gegebenen Werte enthalten den Einfluß des Teilungsfehlers nicht, den der persönlichen Auffassung der Zielbezeichnungen nur zu einem Teil und zwar besonders in den Gruppen II und III.

Es ist klar, daß bei den zumeist verhältnismäßig kurzen Zielweiten die bei wechselnder Beleuchtung ebenfalls wechselnde körperliche Erscheinung der Ziele m_z unter weniger günstigen oder ungünstigen Verhältnissen erheblich vergrößern kann, wie es auch in der Tafel 9 klar zum Ausdruck kommt.

Der Einfluß des regelmäßigen Teilungsfehlers wird schon durch ganz wenige Wiederholungsmessungen an verschiedenen Kreisstellen ausgeschaltet. Und der unregelmäßige Teilungsfehler spielt keine erhebliche Rolle.

Nimmt man den mittleren Ablesefehler m_a einschließlich eines nicht getilgten Teilungsfehlerrestes reichlich groß an zu $\pm 1'',4$ und setzt je nach den äußeren Verhältnissen

	günstig	mittel	ungünstig
$m_z =$	$\pm 2'',0$	$\pm 2'',75$	$\pm 3'',50$,

so erhält man bei der üblichen Ablesung mit zwei Mikroskopen

$m_{r_1} =$	$\pm 2'',25$	$\pm 2'',95$	$\pm 3'',65$.

Damit ist aber die Leistung[1]) des von F. R. Helmert untersuchten, oben näher bezeichneten Theodolits von Starke & Kammerer in Wien aus dem Jahre 1874 erreicht, ein gelegentlicher Beweis des außerordentlichen Fortschrittes der deutschen geodätischen Feintechnik im letzten halben Jahrhundert.

Der 8-cm-Theodolit mit Schraubenmikroskopen reicht also im allgemeinen für Kleintriangulationen bei Stadtvermessungen aus; er gewährleistet die erforderliche Genauigkeit auch unter ungünstigen äußeren Verhältnissen durch einige wenige Wiederholungsmessungen[2]).

2. Bei der Stadtvermessung hat man häufig die Möglichkeit, ganz besonders günstige Beobachtungsverhältnisse abzuwarten und auszunützen. Um m_r auch hierfür festzustellen, habe ich die Richtungen nach 10 Zielpunkten (Blitzableiter, Turmspitzen usw.) in gleicher Weise je 30fach mit großer Sorgfalt gemessen und m_a gleichzeitig je 10fach ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tafel 10 zusammengestellt.

Tafel 10.

Beob. Lü.

$v = 18$; $m_a = \pm 0'',94$; $m_z = \pm 1'',34$.

Lfd. Nr.	Entfernung km	m_r ''
1	0,3	± 1,89
2	0,5	1,22
3	0,9	1,75
4	1,3	1,89
5	1,5	1,62
6	1,7	1,99
7	2,5	1,51
8	2,9	1,49
9	3,4	1,65
10	5,2	1,40
Mittel	2,02	1,64

3. Durch den Beobachter Ka. sind ferner nach 13 Zielen je 12 Richtungen bei sehr günstigen äußeren Verhältnissen und zwar mit den beiden Okularen $v = 11$ und $v = 18$ gemessen worden. m_a ist gleichzeitig aus 90 Einstellungen ermittelt. Tafel 11 gibt die gewonnenen Zahlen.

Man hat weiter

$$v = 11 \qquad v = 18$$
$$m_z = \pm 1'',34 \qquad m_z = \pm 1'',22 .$$

Ein nennenswerter Zuwachs an Genauigkeit durch Verwendung der stärkeren Vergrößerung läßt sich aus Tabelle 11 nicht entnehmen.

4. Betrachtet man die Größe von m_z im Verhältnis zur Entfernung des Zieles, so hat es den Anschein, als ob m_z bei mittleren und ungünstigen Verhältnissen mit der Entfernung wächst.

[1]) a. a. O. *S. 334—341.*

[2]) Für einen 16-cm-Theodolit mit Schraubenmikroskopen von Max Hildebrand (Trommeleinheit 5'', Fernrohr 32 mm Öffnung, Vergrößerung 24× und 30×) fand E. Hegemann (Die Haupttriangulation der Stadt Charlottenburg, *Zeitschr. f. Verm.* **27.** *S. 401. 1898*) $m_r = \pm 1'',4$.

Tafel 11.

Beob. Ka.

$m_a = \pm 0'',89$.

Lfd. Nr.	Entfernung km	m_r $v = 11$ ''	$v = 18$ ''
1	0,3	± 1,66	± 1,45
2	0,5	1,78	1,99
3	0,5	1,19	1,23
4	0,6	1,95	2,01
5	0,9	1,97	1,88
6	0,9	1,91	1,12
7	1,7	1,02	1,14
8	1,7	1,18	1,03
9	2,5	1,96	1,64
10	2,5	1,76	1,33
11	2,9	1,79	1,95
12	5,2	1,38	1,01
13	5,4	1,47	1,87
Mittel	1,97	1,62	1,51

Aus der Beziehung $m_z = \frac{C}{\sqrt{v}}$ errechnet sich, wie Tafel 12 nachweist, C zwischen 6,7 und 13,9. A. Nötzli[1]) gibt für C 3 bis 4 an, jedoch lassen sich diese aus umfangreichen Messungen gewonnenen, auf schweizerische Licht- und Luftverhältnisse und im allgemeinen größere Zielweiten und auf die Einstellung des Zieles mit nur einem Faden bezogenen Werte auf deutsche Stadtvermessungen nicht ohne weiteres übertragen.

Tafel 12.

$v = 18$.

Äußere Verhältnisse	m_z	$m_z \sqrt{v}$
Sehr günstig	± 1,58	6,7
günstig	1,92	8,2
mittelmäßig	2,49	10,6
ungünstig	3,29	13,9

Für einen Voranschlag der inneren Genauigkeit der Winkelmessung wird man setzen dürfen

$$m_z = \frac{8}{\sqrt{v}} \sim 2''.$$

5. Verwendung des Instrumentes bei der Zugmessung.

Um den reinen mittleren Fehler der Winkelmessung zu ermitteln, wurden Richtungen nach Zielen gemessen, die auf einer schwach belebten Straße in Entfernungen von 25 bis 250 m aufgestellt worden waren.

---

[1]) A. Nötzli, Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens mit Fernröhren. Zürich 1915. S. 114.

Als Ziel diente ein Signal, wie es in Fig. 4 dargestellt ist. Die Stärke des Zielzapfens ist so zu wählen, daß sie für kleinere Zielweiten, wie sie in der Altstadt die Regel sind, zu der scheinbaren Entfernung der beiden vertikalen Fäden des Fadenkreuzes in der richtigen Beziehung steht. Bei größeren Entfernungen kann die dreh- und verstellbare Milchglasscheibe, die durch Zielung von der in ihrem oberen Rand angebrachten Kerbe über die Spitze des Zielzapfens auf das Instrument eingerichtet werden kann, nötigenfalls für die Einstellung mitverwendet werden.

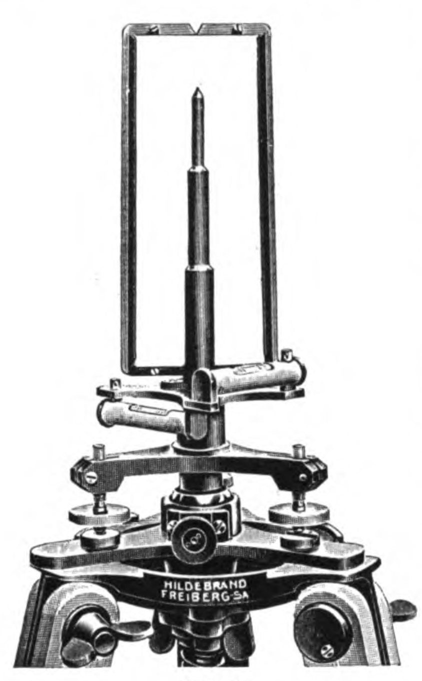


Fig. 4.

Bei den in flotter Arbeit durchgeführten Versuchsmessungen wurden je 25 Richtungen in einer Reihe gemessen. Die Reihe wurde wiederholt. Später wurden diese beiden Reihen nochmals gemessen, so daß für jede Zielweite 100 Messungen der betreffenden Richtung vorliegen.

Es wurde stets nur in einem Mikroskop abgelesen, so daß für den mittleren Richtungsfehler m_r die einfache Beziehung besteht:

$$m_r^2 = m_a^2 + m_z^2.$$

Der mittlere Ablesefehler für ein Mikroskop m_a wurde aus je 25 Einstellungen für jede Gruppe in 4 Reihen, die zeitlich in die Richtungsmessungen eingeschaltet wurden, so bestimmt, wie es Tafel 13 nachweist.

Tafel 13.

Reihe	Strichlänge	Gruppe I m_a ″	Gruppe II m_a ″
1	lang	± 1,44	± 0,78
2	mittel	1,30	1,25
3	kurz	0,78	1,37
4	kurz	1,16	1,31
Mittel		1,17	1,18

Für die Berechnung der mittleren Zielfehler m_z kann also m_a durchweg zu ± 1″,18 angenommen werden.

Die Ergebnisse der gesamten Versuchsmessungen sind in Tafel 14 zusammengestellt.

Die Beobachtungen beider Gruppen sind unter mittleren äußeren Verhältnissen angestellt. Bei Gruppe II herrschte leichtes, bei Gruppe I etwas stärkeres Flimmern. Man darf also die gefundenen Werte für m_z, die in beiden Reihen gut übereinstimmen, als bei praktischen Messungen mit Sicherheit erreichbare ansehen.

Bei der angewandten Zielbezeichnung scheint die günstigste Zielweite 100 m zu sein, jedoch schwankt m_z überhaupt nur in engen Grenzen.

Tafel 14.

Beob. Lü.

$v = 18$; $m_a = \pm 1'',18$.

Lfd. Nr.	Zielweite m	Gruppe I				Gruppe II				m_z Mittel
		m_r			m_z	m_r			m_z	
		Reihe 1	Reihe 2	Mittel		Reihe 1	Reihe 2	Mittel		
		"	"	"	"	"	"	"	"	"
1	25	± 1,73	± 2,75	± 2,24	± 1,90	± 2,69	± 1,62	± 2,16	± 1,81	± 1,86
2	50	1,66	2,53	2,10	1,74	2,08	1,62	1,85	1,43	1,58
3	100	1,95	1,60	1,78	1,33	1,79	1,55	1,67	1,18	1,26
4	150	1,90	2,27	2,08	1,72	1,95	1,89	1,92	1,52	1,62
5	200	1,81	1,90	1,86	1,44	2,12	1,95	2,04	1,66	1,55
6	250	2,91	2,40	2,66	2,39	3,09	1,83	2,46	2,16	2,28

Bei praktischen Messungen wird man die Brechungswinkel stets in beiden Fernrohrlagen messen und beide Mikroskope ablesen. Man darf dann die Werte der Tafel 15 erwarten, in der m_w den mittleren Fehler des je einmal in beiden Fernrohrlagen gemessenen Winkels bedeutet und gleich m_r ist.

Tafel 15.

Lfd. Nr.	Zielweite m	m_w "
1	25	± 2,04
2	50	1,79
3	100	1,51
4	150	1,82
5	200	1,76
6	250	2,43

Aber selbst für die unwahrscheinlich hohen Werte

$$m_a = \pm 2'',5$$

$$m_z = \pm 5'',$$

die selbst unter sehr ungünstigen Verhältnissen wohl kaum erreicht werden dürften, würde man noch

$$m_w = m_r = \pm 5'',3$$

erhalten.

6. Verwendungsbereich des Instrumentes.

Es ist klar, daß der Verwendungsbereich eines Theodolits mit Schraubenmikroskopen in der „niederen Geodäsie“[1]) mit Rücksicht auf diese Ablesevorrichtung immer ein verhältnismäßig beschränkter sein wird. Aber es gibt im Vermessungswesen über und unter Tage und zwar besonders in der Stadtvermessung und bei vielen Messungen des Markscheiders doch eine ziemliche Reihe von Arbeiten, bei denen die Benutzung eines so kleinen, leichten, schnell zu befördernden und doch leistungsfähigen, zudem ohne umständliche, die Sicherheit der Messungsergebnisse gefährdende, optische Einrichtungen konstruierten Theodolits zweckmäßig und wirtschaftlich ist.

[1]) Auf manchen anderen Gebieten ist die Verwendungsmöglichkeit größer. So wird z. B. eine Anzahl dieser Theodolite schon seit längerer Zeit bei der Absteckung der neuen Grenze zwischen Finnland und Sowjetrußland verwendet.

Zerstreuung und Helligkeit von geradsichtigen Prismen.

Von
Prof. Dr. D. Hugo Krüss in Hamburg.

(Schluß von S. 133.)

Der Lichtverlust durch Reflexion.

Bei dem Übergang eines Lichtstrahls von einem Medium in ein zweites von anderem Brechungsverhältnis tritt ein Lichtverlust durch Reflexion ein, indem ein Teil des Lichtes nicht in das zweite Medium gelangt, sondern in das erste zurückgeworfen wird. Dieser Lichtverlust ist um so größer, je größer der Unterschied in den Brechungsverhältnissen der beiden die Eintrittsfläche begrenzenden Medien und je größer der Auffallswinkel ist. Aus ersterem Grunde wird bei einem geradsichtigen Prisma der Lichtverlust am stärksten bei Ein- und Austritt aus dem Prisma sein, weit geringer dagegen an den verkitteten Innenflächen des Prismas, so daß die größere Zahl der miteinander verkitteten Prismen verhältnismäßig nur eine geringe Vermehrung des Lichtverlustes durch Reflexion nach sich zieht.

Da bei der Reflexion das Licht polarisiert wird, so hat man den eintretenden Strahl natürlichen Lichtes in zwei senkrecht zueinander polarisierte Strahlen zerlegt zu denken und für jeden derselben den Lichtverlust zu berechnen. Das geschieht nach den zuerst von Fresnel[1]) dafür aufgestellten Formeln. Die beiden erhaltenen Resultate ergeben in ihrer Summe den Gesamtverlust.

Es sei $J = 1$ die Intensität des nicht polarisierten Lichtstrahles vor dem Durchgange durch eine Oberfläche eines durchsichtigen Mediums, dann sind die Intensitäten i_p und i_s der diesen Strahl zusammensetzenden in der Einfallsebene und senkrecht dazu polarisierten Strahlen einander gleich:

$$J = i_p + i_s$$
$$i_p = i_s = 0{,}5\,.$$

Es sei ferner φ der Einfallswinkel des Strahles, ψ der Brechungswinkel ($\sin\varphi = n\sin\psi$). Dann werden die Intensitäten i_{1_p} und i_{1_s} parallel und senkrecht zur Einfallsebene polarisiert nach der Brechung an der Oberfläche berechnet aus den Ausdrücken

$$i_{1_p} = 1 - \frac{\operatorname{tg}^2(\varphi - \psi)}{\operatorname{tg}^2(\varphi + \psi)},$$
$$i_{1_s} = 1 - \frac{\sin^2(\varphi - \psi)}{\sin^2(\varphi + \psi)}$$

und die Summe beider, multipliziert mit $i_p = i_s = 0{,}5$, ist die Intensität des Strahles nach der Brechung.

Handelt es sich wie beim geradsichtigen Prisma um die Intensität des Strahles nach dem Durchgange durch mehrere hintereinander liegende Flächen, so ist jeder der beiden senkrecht zu einem der polarisierten Strahlen für sich durch diese Flächen zu verfolgen, also i_{1_p}, i_{2_p}, …, sowie i_{1_s}, i_{2_s}, … zu bilden. Daraus ergibt sich dann die Gesamtlichtstärke J_1 des aus dem Prismensystem austretenden Strahles zu

$$J_1 = 0{,}5\,(i_{1_p} \cdot i_{2_p} \cdot \ldots + i_{1_s} \cdot i_{2_s} \cdot \ldots)$$

und $1 - J_1$ würde den Gesamtlichtverlust durch Reflexion beim Verlauf durch das ganze Prisma darstellen.

---

[1]) *Ann. de Chim. et Phys.* (2.), ***17.*** *S. 190. 1821* u. (2.), ***46.*** *S. 225. 1823.*

Es ist nicht uninteressant zu sehen, wie groß der Lichtverlust durch Reflexion an den einzelnen Flächen des Prismas ist. Zu dem Zwecke soll die Intensität beim Auffall auf jede Fläche zunächst gleich 1 angenommen werden. Dann ergibt sich für die Linie *b*:

Durchgelassene Lichtmenge an Fläche	Prisma I	Prisma II	Prisma III	Prisma IV
1	0,957	0,933	0,947	0,947
2	0,985	0,955	0,896	0,979
3	0,986	0,992	0,896	0,993
4	0,957	0,992	0,947	0,993
5		0,955		0,979
6		0,933		0,947
Für das ganze Prisma und die Linie				
A	0,893	0,790	0,771	0,856
b	0,890	0,790	0,730	0,856
H_2	0,877	0,747	0,590	0,840

Man sieht, daß an den inneren miteinander verkitteten Flächen der Lichtverlust durch Reflexion verhältnismäßig gering ist, der Hauptverlust tritt an den beiden äußeren Flächen ein infolge des größeren Unterschiedes in den Brechungsverhältnissen von Luft und Glas. Im übrigen entstehen die Unterschiede an den einzelnen Flächen der verschiedenen Prismen durch die verschiedenen Auffallswinkel. Bei dem Prisma III (3fach) mit dem großen Brechungswinkel von 110° für das Flintglasprisma sind sämtliche Verluste im Verhältnis zu den übrigen Prismen sehr groß. Dazu kommt noch das weitere, daß die stärker brechbaren Strahlen im Prisma III sehr viel größere Reflexionsverluste erleiden als die weniger brechbaren Strahlen. Während bei den anderen drei Prismen der Lichtverlust für das rote Ende des Spektrums gleich oder fast gleich ist, wie derjenige für die Spektrumsmitte und die violetten Strahlen einen nur um höchstens 3 v. H. größeren Lichtverlust erleiden, ist die Lichtdurchlässigkeit bei dem Prisma III im Verlauf des Spektrums sehr verschieden, sie nimmt vom Rot bis zum Violett ständig ab. Die durchgelassene Lichtmenge der roten Strahlen ist 6 v. H. größer, diejenigen der violetten Strahlen 20 v. H. kleiner als diejenige der Strahlen der Linie *b* in der Mitte des Spektrums. Auch für diese ist der Lichtverlust sehr viel größer als für die anderen drei Prismen, so daß dem Vorteil der größeren Dispersion des Prismas III der Nachteil eines größeren Lichtverlustes durch Reflexion gegenübersteht. Auch die weiter zu betrachtenden Umstände wirken in der gleichen Richtung.

Die Breite des eintretenden Lichtbüschels.

Die Helligkeit des durch ein geradsichtiges Prisma erzeugten Spektrums ist abhängig von dem Querschnitt des in das Prisma eintretenden Lichtbüschels. Will man verschiedene Prismenkonstruktionen in dieser Beziehung miteinander vergleichen, so wird man bei ihnen denselben Querschnitt zugrunde legen müssen. Die Höhe des in das Prisma eintretenden Lichtbüschels ist dann bei allen die gleiche, nämlich gleich der Höhe des Prismas. Aber die Breite ist keineswegs bei verschiedenen Konstruktionen dieser Prismen die gleiche. Sie ist abhängig von den Winkeln des Eintrittsprismas. Dabei ist vorausgesetzt, daß die Glasart dieses Eintrittsprismas bei den miteinander zu vergleichenden Prismen dieselbe ist, wie es in den bisher betrachteten Konstruktionen in der Tat der Fall ist.

Ein parallel der Achse des Prismas auf die Eintrittsfläche treffender Strahl fg (Fig. 3), wird zum Lote gebrochen und durchläuft das Eintrittsprisma in der Richtung gc. Alle Strahlen, die unterhalb des Strahles fg auf das Prisma treffen, können also nicht durch das Prisma hindurchgehen. Es bleiben als wirksame Strahlen also nur die zwischen den parallelen Strahlen fg und ed liegenden. Bezeichnet man den Abstand dieser beiden Strahlen voneinander, also die wirksame Breite des Lichtbüschels mit b, die Gesamtbreite des Prismas mit B, so ergibt sich:

Fig 3.

$$ad = \frac{B}{\sin\beta}; \qquad dc = \frac{B}{\cos\frac{\alpha_2}{2}};$$

$$dg = dc\,\frac{\cos\varphi_2}{\cos\varphi_1}; \qquad ga = ad - dg;$$

$$b' = ga\cdot\sin\beta; \qquad b = B - b'.$$

Um zu ziffernmäßigen Ausdrücken für die wirksame Breite des eintretenden Büschels zu gelangen, muß irgendeine Größe für die Abmessungen des Prismas angenommen werden, die auch für die weiter folgenden Vergleiche erforderlich ist. Es habe das Prisma einen Querschnitt von 20×20 mm², so daß B also = 20 mm gesetzt wird.

Die für die Breite des einfallenden Lichtbüscheis sich ergebenden Größen sind natürlich für die Strahlen verschiedener Brechbarkeit etwas verschieden, jedoch sind die Unterschiede nur sehr gering, beim Prisma I z. B. nur 0,1 mm, so daß man für den Vergleich der verschiedenen Prismen unter einander sich mit der für den mittleren Strahl der Linie b begnügen kann. Es ist

	Prisma I	Prisma II	Prisma III	Prisma IV
die Breite des einfallenden Strahlenbüschels	15,2 mm	8,2 mm	8,4 mm	11,3 mm.

Der Lichtverlust durch Absorption.

Um den Lichtverlust durch Absorption der einzelnen Prismen zu bestimmen, muß man die Absorptionsverhältnisse der zu den Prismen verwendeten Glasarten kennen. Für das besondere hier der Rechnung zugrunde gelegte Kron- und Flintglas sind entsprechende Angaben in der Literatur nicht vorhanden. Man muß sich deshalb nach Bestimmungen ähnlicher Glasarten in dieser Beziehung umsehen und diese findet man bei H. C. Vogel[1]). Diese Zahlen sind vielfach angewendet worden, u. a. von J. Hartmann[2]) bei seinen Untersuchungen über die Lichtdurchlässigkeit sogenannter Compound-Prismen.

Dem hier benutzten Kronglas *O* 144 mit dem Brechungsindex 1,5134 für die Linie b ist bei H. C. Vogel am ähnlichsten das Kronglas *O* 598 mit dem Brechungsverhältnis von 1,519 für dieselbe Linie. Unter den von H. C. Vogel untersuchten Flintgläsern ist das am stärksten brechbare *O* 102 ($n_b = 1{,}682$), während für das hier in Rede stehende Glas *O* 113 $n_e = 1{,}7484$ ist.

Die von einer Schicht von 100 mm hindurchgelassene Lichtmenge ergibt sich bei Vogel für die genannten beiden Glasarten

	rot (677)	grün (503)	violett (h—H_2)
Kronglas *O* 598	0,860	0,776	0,604
Flintglas *O* 102	0,794	0,782	0,282

[1]) *Sitzgsber. d. Berl. Akad. 1896. S. 1219.*

[2]) *Diese Zeitschr. 20. S. 20. 1900.*

Bemerkenswert ist hier, daß das gelbgrün gefärbte Flintglas für Grün dieselbe Durchlässigkeit besitzt als das Kronglas, für Rot eine etwas, für Violett eine sehr viel geringere. Das hier in Betracht kommende schwerere Flintglas *O* 113 hat eine noch stärkere Färbung, so daß die angegebene Zahl für das Violett noch reichlich hoch erscheinen kann.

Es soll nicht unterdrückt werden, daß die Vogelschen Zahlen mehrfach angezweifelt worden sind oder wenigstens angenommen worden ist, daß Vogel besonders undurchlässige Gläser untersucht habe. So hat H. A. Krüss[1]) eine Anzahl Jenaer Gläser auf ihre Durchlässigkeit mittelst eines Fluoreszenzschirmes untersucht und bei einer Glasdicke von 100 mm für verschiedene Krongläser eine Durchlässigkeit von 0,93—0,97 bei der Wellenlänge 480 $\mu\mu$ (Linie *F*) gefunden und für das am stärksten brechende Flintglas, welches dem von Vogel untersuchten *O* 102 in seinen Brechungsverhältnissen nahekommt, bei derselben Wellenlänge 0,89. Die Unterschiede zwischen Vogel und H. A. Krüss sind recht groß, eine Erklärung dafür ist nicht vorhanden. Da aber die Untersuchungen von Krüss sich nicht weiter ins sichtbare Spektrum bis zum Rot erstrecken, so sind sie hier nicht zu verwenden. Da es bei den vorliegenden Untersuchungen aber nicht so sehr auf absolute Ergebnisse ankommt, sondern auf den Vergleich der vier verschiedenen Prismen untereinander, so wird auch bei Benutzung der Vogelschen Zahlen der Sinn der Resultate kaum geändert werden, wenn auch eine zu niedrige Zahl für den Durchlässigkeitsfaktor angenommen wird, zumal es sich um kleinere Glaswege handelt.

Um aus der Lichtdurchlässigkeit A_{100} für 100 mm Glasdicke zu derjenigen A_d für eine bestimmte andere Dicke d zu gelangen, benutzt man die Formel

$$A_d = A_{160}^{\frac{d}{100}}.$$

Es müssen demgemäß zunächst die Längen der Wege der Strahlen in den Prismen und zwar für die Kron- und die Flintglasprismen gesondert ermittelt werden. Beobachtet man die Fig. 3, so sieht man, daß der oberste eintretende Strahl *ed* nur durch das mittlere Flintglasprisma geht, der untere Strahl *fg* nur durch die beiden äußeren Kronglasprismen. Die dazwischen liegenden Strahlen werden mehr oder weniger durch die eine oder die andere Glasart beeinflußt werden. Man müßte also, um ein vollständig exaktes Ergebnis zu erhalten, die Lichtdurchlässigkeit über die gesamten zwischen *ed* und *fg* einfallenden Strahlen integrieren. Das ist aber rechnerisch nicht gut möglich. Man muß sich also darauf beschränken — und wird dadurch auch ein genügend zutreffendes Vergleichsmaterial erhalten —, den Weg eines mitten zwischen *ed* und *fg* liegenden Strahles durch den Prismensatz zu verfolgen. Die so ermittelten Glaswege sind für die Strahlen der Linie *b*

	Prisma I	Prisma II	Prisma III	Prisma IV
im Kronglas	28,2 mm	54,6 mm	39,4 mm	50,4 mm,
im Flintglas	20,0 „	37,8 „	29,8 „	31,8 „

Es ergeben sich daraus die folgenden Zahlen für die durchgelassenen Lichtmengen, wenn die Intensität der auffallenden Strahlen = 1 gesetzt wird:

Prisma I	rot	grün	violett
Kronglas . .	0,958	0,931	0,866
Flintglas . .	0,955	0,952	0,776
Insgesamt .	0,915	0,856	0,672

[1]) *Diese Zeitschr.* **23**. *S. 238. 1903.*

	rot	grün	violett
Prisma II			
Kronglas . .	0,921	0,871	0,759
Flintglas . .	0,917	0,911	0,620
Insgesamt .	0,844	0,793	0,471
Prisma III			
Kronglas . .	0,942	0,904	0,819
Flintglas . .	0,934	0,929	0,686
Insgesamt .	0,879	0,841	0,561
Prisma IV			
Kronglas . .	0,927	0,880	0,776
Flintglas . .	0,929	0,925	0,667
Insgesamt .	0,861	0,814	0,551

Während die beiden Prismensätze II und IV, die sehr ähnliche Massenverteilungen haben, verhältnismäßig wenig verschieden in bezug auf die Lichtabsorption sind, läßt das Prisma III sehr viel weniger Licht hindurch als das Prisma I. Bei allen Prismen ist der Abfall nach dem violetten Ende des Spektrums hin sehr stark, namentlich durch die Einwirkung der grünlichen Färbung des Flintglases.

Die Helligkeit des Spektrums.

Nach dem bisher Angeführten ist die Helligkeit J des durch die Prismen erzeugten Spektrums abhängig von der Größe der Zerstreuung Z, welche das Spektrum besitzt. Je größer die Zerstreuung Z ist, auf einen je größeren Winkelraum das Spektrum ausgebreitet wird, um so geringer ist die Helligkeit jeder einzelnen Stelle des Spektrums. Zum Vergleich soll hier die Größe der Zerstreuung für den mittleren Bezirk zwischen den Linien C und F herangezogen werden. Ferner ist die Helligkeit des Spektrums abhängig von der Breite b des eintretenden Lichtbüschels, wobei dessen Höhe als die gleiche bei allen vier miteinander zu vergleichenden Prismensätzen vorausgesetzt wird. Endlich kommen in Betracht die Anteile R, welche nach Abzug des Lichtverlustes durch Reflexion an den einzelnen Flächen des Prismensatzes übrigbleiben, sowie die nach Absorption in der Glasmasse übrigbleibenden Lichtmengen A.

Infolgedessen wird die Helligkeit des Spektrums dargestellt durch den Ausdruck

$$J = \frac{b \cdot R \cdot A}{Z}.$$

Zum Vergleich der Helligkeiten der vier verschiedenen Prismensätze untereinander seien die vier in Betracht kommenden Größen b, R, A und Z für das Prisma I jede gleich der Einheit gesetzt. Dann ergibt sich aus den im Vorstehenden gegebenen Rechnungsresultaten, wenn man für R und A diejenigen für Strahlen der Linie b benutzt, folgende Zusammenstellung:

	Prisma I	Prisma II	Prisma III	Prisma IV
b	1	0,54	0,55	0,74
R	1	0,89	0,82	0,96
A	1	0,90	0,95	0,92
Z	1	3,30	2,77	2,32
J	1	0,13	0,15	0,28

Man sieht ohne weiteres, daß auf das Verhältnis der Helligkeiten der von den vier verschiedenen Prismensätzen erzeugten Spektren die Zerstreuungen, welche sie

besitzen, den größten Einfluß üben, würde man sie unberücksichtigt lassen, so würden sich als Verhältniszahlen

1 0,47 0,43 0,65

ergeben. Es kommt also bei der Wahl der Konstruktion eines geradsichtigen Prismas wesentlich darauf an, welchen Wert man auf die Größe der Zerstreuung legt. Bei der Benutzung geradsichtiger Prismen zu den Taschenspektroskopen ohne Fernrohr kommt es mehr auf große Zerstreuung an, als bei den Spektroskopen nach Jansen-Hoffmann mit Fernrohr. Bei den letzteren ist, wie schon angeführt, der Winkelwert der Zerstreuung nicht der einzige für die lineare Ausdehnung des Spektrums im Gesichtsfelde des Beobachtungsfernrohres in Betracht kommende Faktor, da die Länge des Spektrumbildes auch von der Brennweite des Objektives des Beobachtungsfernrohres abhängt. Durch Vergrößerung dieser Brennweite wird auch die Ausdehnung des Spektrums vergrößert.

Es mag erwähnt werden, daß C. Braun sich schon früher eingehend mit dem Lichtverlust in einem geradsichtigen fünffachen Prisma beschäftigte[1]). Seine Ergebnisse sind nicht vollständig nachzuprüfen, solches ist mir auch seiner Zeit durch einen Briefwechsel mit dem Verfasser nicht gelungen. Er gibt an, daß 1 cm Kronglas von dem auffallenden Licht etwa $2^1/_2{}^0/_0$ der roten, $4{,}7^0/_0$ der grünen und $20^0/_0$ der violetten Strahlen absorbiere. Er scheint als Grundlage für diese recht hohen Zahlen Veröffentlichungen englischer Optiker benutzt zu haben. Da nun das mittlere Kronglasprisma in der Höhe seiner brechenden Kante bis zu etwa $^1/_4$ der Breite des Prismas überhaupt keine Verwendung findet, schlug Braun vor, „dieses Kronglasprisma und die beiden anliegenden Flintglasprismen gleich von vorneherein kleiner herzustellen. Bei einer Breite des ganzen Prismensatzes von 20 mm wird der Weg der Strahlen um 1 cm, also etwa $11^0/_0$, verkleinert. Dadurch wird die Absorption im ganzen Prisma um etwa $10^0/_0$ vermindert. Dieser Vorschlag Brauns scheint seither gelegentlich Nachahmung gefunden zu haben, dagegen nicht die weitere Anregung, die beiden inneren Flintglasprismen so zu drehen, daß Strahlen mittlerer Brechbarkeit gegen die beiden Endflächen dieser beiden Prismen gleich geneigt sind. Zu dem Zwecke muß das mittlere Kronglasprisma statt 90 Grad einen Brechungswinkel von 105 Grad erhalten. Er erreicht damit eine größere Breite des eintretenden Lichtbüschels und einen geringeren Lichtverlust durch Reflexion. Die Zerstreuung dieses Prismas ist allerdings eine geringere als bei dem fünffachen Prisma der üblichen Konstruktion. Jedoch wird dadurch weiter die Helligkeit des Spektrums erhöht. Der Verfasser meint, daß es in gewissen Fällen z. B. bei der Untersuchung von Nebelflecken und Kometen-Spektren weniger auf große Dispersion als vielmehr auf große Helligkeit ankommt.

Die Leistung und Kosten der geradsichtigen Prismen.

Man findet vielfach die Bemerkung, daß sich die Beschaffung fünffacher geradsichtiger Prismen gegenüber derjenigen dreifacher deshalb nicht empfehlen lasse, weil die höheren Kosten der fünffachen Prismen nicht im Verhältnis ihrer größeren Leistung stehen.

Die Leistung der Prismen besteht einerseits in der Zerstreuung Z der Prismen, andererseits in ihrer Lichtdurchlässigkeit. Von zwei Prismen gleicher Zerstreuung

[1]) *Ber. des Erzbischöfl. Observat. zu Kalocsa in Ungarn; Referat in dieser Zeitschr.* **7.** S. 399. 1887.

leistet dasjenige das Doppelte, welches doppelt so viel Licht hindurchläßt, oder umgekehrt wird bei zwei Prismen von gleicher Lichtdurchlässigkeit dasjenige das Zweifache leisten, welches eine doppelt so große Zerstreuung besitzt, als das andere. Infolgedessen ist als Leistung eines Prismas zu setzen

$$Z = b \cdot R \cdot A \cdot Z.$$

Wenn aber ein Prisma zu seiner Herstellung den doppelten Kostenaufwand K erfordert wie ein anderes mit derselben Leistung, so ist das letztere nur halb so preiswert. Die Preiswertigkeit wird also ausgedrückt durch

$$W = \frac{L}{K}.$$

Die Herstellungskosten eines geradsichtigen Prismas setzen sich zusammen aus den Kosten der Glasmenge und aus der aufzuwendenden Arbeit der Herstellung. Um diese zu ermitteln, muß die Größe der Glasmasse und die Größe der zu bearbeitenden Flächen ermittelt werden, wobei noch zu scheiden ist zwischen solchen Flächen, die zu anderen Flächen in vorgeschriebenem genauen Winkel hergestellt und poliert werden müssen, und denjenigen, welche nur matt geschliffen zu werden brauchen. Die in Betracht kommenden Größen sind für unsere vier Prismen:

	Prisma I	Prisma II	Prisma III	Prisma IV
Glasmasse	20 ccm	40 ccm	32 ccm	36 ccm
Polierte Flächen .	32 qcm	57 qcm	40 qcm	48 qcm
Geschliffene Flächen	40 „	63 „	56 „	56 „

Die Kosten der Prismen sollen nun nicht in Mark und Pfennig berechnet werden, was in der Jetztzeit auch kaum möglich ist, sondern es handelt sich nur um das Verhältnis der Kosten der vier Prismentypen zueinander. Zu diesem Zwecke sollen die Kosten des Prisma I = 1 angenommen werden. Die Kosten der Glasmasse stellen sich erfahrungsgemäß auf etwa 0,1 des Gesamtpreises. Um die Sache nicht zu umständlich zu machen, seien zu den Kosten der Herstellung der polierten Flächen diejenigen des Zusammenkittens mit inbegriffen und zu denjenigen der vier geschliffenen Flächen die Kosten, welche das Zurichten der Prismen aus den Glastafeln erfordert. Man kann unter dieser Voraussetzung, ohne weit von dem Tatsächlichen abzuweichen, die Kosten der polierten Flächen zu 0,6, diejenigen der nur geschliffenen Flächen mit 0,3 des Gesamtkostenaufwandes ansetzen. Nimmt man diese Sätze für das Prisma I, so ergeben sich ohne weiteres aus den angegebenen Zahlen für die Größenverhältnisse die verhältnismäßigen Aufwendungen für die anderen drei Prismen.

Im Nachfolgenden sind die Verhältniszahlen der Kosten, der Leistung und der Preiswertigkeit zusammengestellt:

	Prisma I	Prisma II	Prisma III	Prisma IV
Kosten der Glasmasse	0,10	0,20	0,16	0,18
„ „ polierten Flächen .	0,60	1,07	0,75	0,90
„ „ geschliffenen Flächen	0,30	0,47	0,42	0,42
Gesamtkosten K	1,00	1,74	1,33	1,50
Leistung $L = b \cdot R \cdot A \cdot Z$	1,00	1,55	1,19	1,50
Preiswertigkeit W	1,00	0,90	0,97	1,00
„ W'	1,00	1,90	2.08	1,56

Es zeigt sich in den Größen für W kein großer Unterschied, die vier Prismen sind ziemlich gleichwertig unter Berücksichtigung von Leistung und Herstellungs-

kosten. Am preiswertesten sind das dreifache Prisma I und das fünffache Prisma IV, sehr nahe steht das dreifache Prisma III mit den großen Prismenwinkeln.

Es sind noch Werte für eine Größe W' angefügt. In manchen Fällen kommt es nicht so sehr auf den Lichtverlust in den Prismen an, z. B. bei Beobachtung des Spektrums der Sonne, sehr hellen Lichtquellen, heller Spektrallinie, sondern das Hauptgewicht liegt auf der Größe der Zerstreuung. Setzt man deshalb $W' = \frac{L}{K}$, so ergeben sich die unter dieser Voraussetzung giltigen Werte und es ist, wie zu erwarten war, das dreifache Prisma III in dieser Beziehung das preiswerteste.

Die im Vorstehenden zusammengestellten Angaben über die Eigenschaften der geradsichtigen Prismen sollen die Auswahl ermöglichen unter Berücksichtigung der Anwendungsart derselben.

Es sind zwei Gesichtspunkte absichtlich nicht erörtert worden, weil sie nicht aus Eigenschaften der Prismen herzuleiten sind. Es ist bei der Berechnung des Lichtverlustes in den Prismen angenommen werden, daß die Helligkeit der auf das Prisma treffenden Strahlen verschiedener Wellenlänge einander gleich, nämlich immer gleich der Einheit sei. Das ist durchaus nicht der Fall. Im Sonnenspektrum und in den kontinuierlichen Spektren der Lichtquellen nimmt die Helligkeit nach den Enden des Spektrums, hauptsächlich aber nach dem violetten Ende erheblich ab. Das gleiche Verhältnis besteht bei der Empfindlichkeit des Auges gegen die verschiedenen Teile des Spektrums, die im hellsten Spektralbezirke am größten ist und nach den Enden des Spektrums sehr viel geringer ist. Es wird also bei der Beobachtung mit einem geradsichtigen Spektroskop das violette Ende des Spektrums noch sehr viel weniger hell erscheinen im Verhältnis zum Gelbgrün, als die vorstehend mitgeteilten Zahlen angeben.

Die Fallmaschine als Beweismittel für die Erdumdrehung.

Von
J. G. Hagen, S. J. in Rom.

Über unsere Versuche mit der Fallmaschine, um die Drehung der Erde auf mechanischem Wege zu zeigen, ist an mehreren Orten berichtet worden, zuerst in *Veröffentlichungen der Vatikanischen Sternwarte, Bd. I, Appendix II, 1912, S. 29—47,* dann in zwei Vorträgen auf dem Mathemathikerkongreß in Cambridge 1912 und auf der Versammlung der deutschen Naturforscher und Ärzte in Münster 1912, die in den Berichten dieser Vereinigungen abgedruckt sind.

Seitdem haben wir die Versuche auf der Sternwarte fortgesetzt, in der Absicht, die Beschleunigung des fallenden Gewichts, die bekanntlich durch den Faden stetig vergrößert wird, konstant zu machen. Bei rein qualitativen Versuchen ist dieser Umstand nicht von Bedeutung, weil das fallende Gewicht trotzdem immer nach Osten abweicht, wohl aber bei quantitativen, weil der Zuwachs der Beschleunigung bei einer Fallhöhe von 20 m sich bemerklich macht.

I. Theorie der Fallmaschine.

Bei unsern früher veröffentlichten Versuchen fiel die östliche Abweichung des absteigenden Gewichts allerdings nur um 0,01 mm zu groß aus, während der W. F. des Mittels aus 66 Beobachtungen den dreifachen Wert $\pm 0{,}03$ mm erreichte. Nichts-

destoweniger ist das Ergebnis nicht vollständig befriedigend, weil der berechneten Differenz $+0{,}01$ mm eine willkürliche Annahme zugrunde liegt, nämlich die Annahme einer mittleren Beschleunigung. Die Fallhöhe wurde in drei nahezu gleiche Abschnitte geteilt und für jede der Höhen wurde die Beschleunigung γ aus den Fallzeiten ($t = 6{,}5$, $8{,}7$, $10{,}5$ s) nach der Formel $2z = \gamma t^2$ berechnet, worin γ konstant angenommen wurde. Es ergaben sich die drei Werte $\gamma = 0{,}35$, $0{,}39$ und $0{,}42$ m. Theoretisch ist es durchaus nicht klar, daß der beste Näherungswert von γ das arithmetische Mittel $\gamma_0 = 0{,}39$ m sein soll. Er wurde aber gewählt und in die unten zu erwähnende Formel 2) eingesetzt.

Die für die Koordinaten des fallenden Gewichtes geltenden Gleichungen sind in dem erwähnten *Appendix II, S. 39* aufgestellt. Sie lauten, wenn die Ableitungen nach der Zeit t durch obere Zeiger angedeutet werden:

$$\left.\begin{aligned} x'' &= -(g-\gamma)\frac{x}{z} \\ y'' &= +2\omega\cos\varphi z' - (g-\gamma)\frac{y}{z} \\ z'' &= +\gamma \end{aligned}\right\} \qquad 1)$$

Die Bezugsachsen haben die Richtungen:

$$+x = \text{Süd}, \quad +y = \text{Ost}, \quad +z = \text{Nadir}.$$

Ferner bedeutet g die Beschleunigung des freien Falles, γ die des verlangsamten auf der Fallmaschine, ω die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde und φ die geographische Breite des Beobachtungsortes. Für Rom ist $\omega\cos\varphi = 0{,}00005426$, ausgedrückt in Sekunden mittlerer Sonnenzeit.

Die Schwierigkeit der Integration liegt in der Gleichung zweiter Ordnung $z'' = \gamma$, weil γ eine unbekannte Funktion der Fallhöhe ist. Die von **Atwood** vorgeschlagene lineare Form $\gamma = \alpha + \beta z$ ist höchstwahrscheinlich nicht die richtige, und wenn sie richtig wäre, würde dadurch die zweite Gleichung (für y) doch nicht integrierbar. Sie würde allerdings linear mit rationalen Koeffizienten, diese Koeffizienten sind aber wenigstens vom 4. Grade in t.

Das Integral der **Atwood**schen Gleichung $z'' = \alpha + \beta z$ ist im *Appendix II, S. 41* gegeben, es trägt aber zur Lösung unserer Aufgabe nichts bei. Diese Lösung fällt vielmehr ganz auf den Versuch und den Apparat. Soll der **quantitative Beweis der Erdumdrehung vollständig befriedigend ausfallen, so muß die Beschleunigung auf der Fallmaschine konstant gemacht werden.** Bei konstantem γ_0 können die Gleichungen 1) integriert werden, sie liefern die Koordinaten:

$$x = 0, \quad y = \frac{\gamma_0^2}{2\gamma_0 + g}\,\omega\cos\varphi \cdot t^3, \quad z = \tfrac{1}{2}\gamma_0 t^2. \qquad 2)$$

Bei $\gamma_0 = 0$ steht der Apparat still, bei $\gamma_0 = g$ geht der Ausdruck für y in die Gaußsche Formel des freien Falles über.

II. Der Apparat.

Unser Apparat (Fig. 1) ist in einer verschlossenen Kammer über dem Vatikanischen Museum der Statuen aufgestellt. Der steinerne Fußboden, der durch ein Gewölbe getragen wird, hat eine runde Öffnung, wodurch eine Fallhöhe von 23 m erreicht wird. Das unter dem Tisch sichtbare Gewicht ist das steigende, wie es nach dem Versuch hängt. Die Rolle ist von der Firma **Leybold** in Köln geliefert. Sie besteht aus einer dünnen Aluminiumscheibe und läuft auf Stahlspitzen. Vor dem

Versuch ruht das Fallgewicht innerhalb der Röhre, auf welcher die Rolle angebracht ist, so nahe an der Rolle als möglich. Das Fallgewicht ist nicht nur durch die Röhre gegen Luftzug geschützt, sondern auch durch eine Glasglocke, die ständig über dem Apparat aufgestellt ist. Außerdem ist der Tisch während der Versuchsreihe mit dickem Stoff ganz eingewickelt. Sogar die beiden Fenster der Kammer waren mit Brettern vernagelt und mit Papier verklebt.

Der 23 m hohe Schacht besteht aus dem Innenraum einer steinernen Wendeltreppe. Er ist ebenfalls mit Tuch vernagelt und mit Papier verklebt worden. Nur unten, wo beobachtet wird, ist der Schacht durch zwei Türen verschlossen, eine innere mit Fenster aus geschliffenem Glas und eine äußere Schutztüre, in der eine kleine runde Öffnung zum Beobachten angebracht ist.

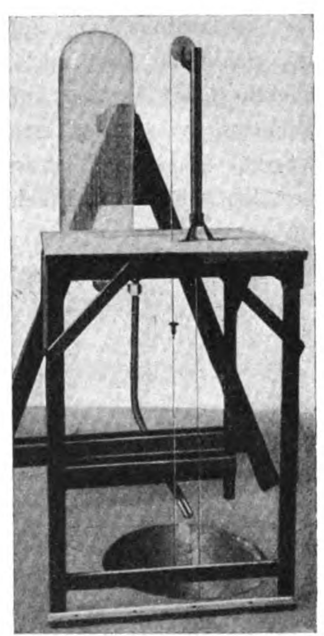


Fig. 1.

Dieser Öffnung gegenüber ist ein Theodolit aufgestellt, in dem sich der absteigende Faden scharf beobachten läßt, noch bevor die Gewichte aufgefangen werden. Das fallende Gewicht selbst wird seiner Schnelligkeit wegen im Theodolit nie gesehen. Im Okularauszug ist eine Glasteilung angebracht, in der die Zehntel der engsten Striche noch geschätzt werden. Die Festigkeit des Theodoliten ist dadurch gesichert, daß er auf einer Marmorplatte ruht, die in die Mauer eingelassen ist. Unser Theodolit ist nach Süden gerichtet, die Glasteilung liegt also in der Vertikalebene Ost—West[1]).

Das Steiggewicht wird unten in einen Bleifaden eingehakt, der die zwei Pole einer elektrischen Lichtleitung verbindet. Wenn es oben anlangt, muß das Fallgewicht noch 1 m freien Raumes unter sich haben, weil der Faden sich ausdehnt und das Gewicht auf- und abschwingt.

In Fig. 1 sind beide Teile des Rollfadens sichtbar, der absteigende und der aufsteigende. Am unteren Ende des Steiggewichts ist aber noch ein anderer Faden erkennbar, der sogen. Hilfsfaden, dessen Zweck sein soll, das Anwachsen der Beschleunigung zu verhindern. Im *Appendix II, S. 40* ist nämlich der Vorschlag gemacht, unter dem Steiggewicht einen Hilfsfaden anzubringen, der die doppelte Dicke des Rollfadens hat. Dadurch wird allerdings erreicht, daß das Übergewicht der absteigenden Masse über die aufsteigende konstant bleibt, doch ist zu bedenken, daß die Gesamtmasse, die in Bewegung gerät, nicht konstant bleibt, sondern während des Falles wächst, natürlich auf Kosten der Beschleunigung. Theoretisch richtiger wäre der schon von Schober, dem Erfinder der Fallmaschine, gemachte Vorschlag, beide Gewichte unterhalb durch einen Faden zu verbinden. Hat dieser Hilfsfaden mit dem Rollfaden gleiche Dicke, so wird durch ihn sowohl die Gesamtmasse als das Übergewicht konstant gehalten. Dieser zweifach angehängte Hilfsfaden böte aber bei einer Fallhöhe von über 20 m große Schwierigkeit, denn die beiden Stränge, die in keiner Weise gespannt sind, würden sich verwickeln, wenn nicht die Rolle einen entsprechend großen Durchmesser hat. Außerdem geht bei

[1]) Das war allerdings wegen Raummangel nur mit Zuhilfenahme eines Spiegels möglich, wie im *Appendix II, S. 32* beschrieben ist.

diesem Hilfsfaden ein mechanischer Vorteil verloren, den der am Steiggewicht allein angehängte Faden bietet. Dieser Faden hält nämlich die Bewegung auf, ohne daß eines der Gewichte anschlägt. Die Schwierigkeiten, die wir ohne diesen Hilfsfaden zu überwinden hatten, sind im *Appendix II, S. 31* beschrieben. Aus diesen Gründen haben wir den am Steiggewicht allein angehängten Faden versucht, ihm aber in drei Versuchsreihen verschiedene Stärke gegeben.

Allerdings kann auch dieser Hilfsfaden, wenn er auf einer Ebene ausgebreitet ist, Schlingen mit sich in die Höhe ziehen. Diesem Übelstand wurde durch Aufwicklung des Fadens auf einen Kegel abgeholfen. Das Aufwickeln geschah in der Richtung von unten nach oben, während gleichzeitig das Steigewicht herabgezogen wurde. Der Kegel ist weniger als $^1/_2$ m hoch. Er war erst aus starkem Papier hergestellt, später aus Blech, in beiden Fällen mit ganz glatter Oberfläche. Fig. 2 stellt

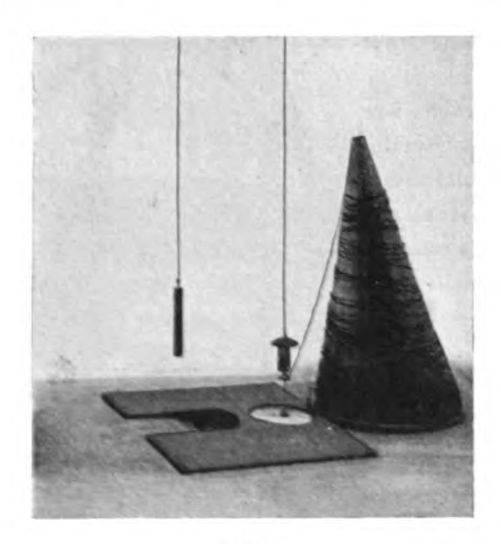


Fig. 2.

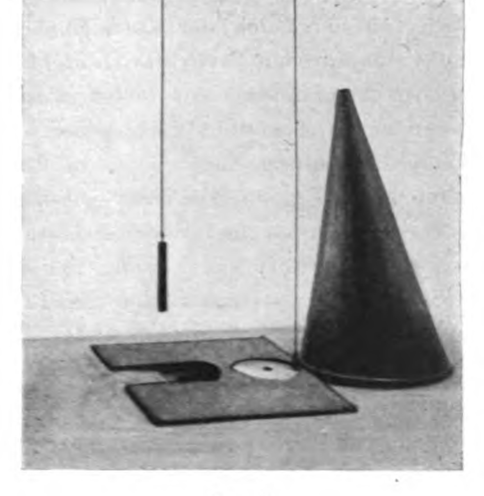


Fig. 3.

den Kegel mit aufgewickeltem Faden dar, also vor dem Versuch, Fig. 3 die Anordnung nach dem Versuch.

Die beiden Gewichte des Apparates sind nicht genau dieselben wie beim ursprünglichen Versuch. Daher sind die im *Appendix II, S. 41* abgedruckten Zahlen mit den neuen Ergebnissen nicht unmittelbar vergleichbar.

Zu besonderem Dank sind wir den beiden Herren Dr. Stieger und Dr. Zangger verpflichtet für Seidenfäden verschiedener Dicke, die sie uns gerade in der schweren Nachkriegszeit 1920 aus der Schweiz besorgt haben.

Ein wesentlicher Anteil an der ganzen Einrichtung und an den Versuchen gebührt dem geschickten Mechaniker der Sternwarte, Carlo Diadori. Er besorgte alle Vorbereitungen, so daß der Beobachter nichts anderes zu tun hatte als den Strom zu schließen und den Faden zu beobachten, eine Arbeit, die kaum 5 Minuten in Anspruch nahm.

III. Der Versuch.

Der Beobachter bringt den Theodoliten in eine solche Stellung, daß er von vornherein weiß, zwischen welchen Teilstrichen der Glasskala der absteigende Faden zu erwarten ist. Dazu dient einerseits die Feinbewegung in Azimut und anderseits

ein an der weißen Wand innerhalb des Schachtes angebrachter Faden, der durch ein Gewicht gespannt ist (sichtbar in Fig. 2 und 3). Neben dem Theodoliten ist der Umschalter zum Abschmelzen des Bleifadens angebracht. Der Beobachter hat in der einen Hand ein Taschenchronometer, auf dessen Knopf er drückt, während er mit der andern den Strom schließt. Er hat noch Zeit, das Auge ans Okular zu bringen, denn erst nach 10 Sekunden erscheint der Faden im Gesichtsfeld. Die Lage des Fadens wird geschätzt und der Knopf zum zweitenmal gedrückt. Die Messung der Fallzeit bei jedem Versuch dient zur Sicherheit, daß keine Störung vorgekommen ist.

Der Nullpunkt auf der Glasteilung bestimmt sich leicht, weil das Fallgewicht nach Osten abgelenkt war und nun um die Vertikale pendelt. Fünf Ausschläge nach jeder Seite genügen, es ist aber ratsam, damit einige Minuten zu warten, bis die Schwingungen regelmäßig werden, denn tatsächlich beschreibt das Gewicht sphärische Ellipsen, während es sich um seine Längsachse dreht. Ein Vorteil der Einrichtung besteht darin, daß der Beobachter nur die Projektion dieser Ellipse auf die Ost-West-Ebene sieht.

Um die beobachtete Größe y mit der Theorie zu vergleichen, wurde, wie schon eingangs erwähnt, eine mittlere Beschleunigung gesucht, die in die Formel 2) eingesetzt werden konnte. Zu diesem Zweck wurde die Bekleidung des Schachts an zwei Stellen durchbrochen, so daß die Fallzeit in den drei Höhen

$$z = 7{,}47 \text{ m}, \quad z = 14{,}94 \text{ m}, \quad z = 22{,}96 \text{ m}$$

beobachtet werden konnte.

IV. Das Ergebnis.

Da jeder Hilfsfaden, der nur am Steiggewicht befestigt ist, die bewegte Masse stetig vermehrt und dadurch die Beschleunigung des Falles vermindert, so wurden drei Reihen von Versuchen unternommen, jede mit verschiedenem Hilfsfaden. In der ersten Reihe hatte der Hilfsfaden die doppelte Dicke des Rollfadens, in der zweiten die gleiche Dicke und in der dritten nur ein Drittel der Dicke. Bei der ersten Versuchsreihe blieb das Übergewicht auf der Fallseite konstant, in den beiden folgenden wurde es stetig größer und konnte so die abnehmende Beschleunigung teilweise ausgleichen.

Wir stellen die Ergebnisse erst in Tabellenform zusammen. Die Versuchsreihen sind durch Horizontalstriche getrennt. Die drei Zeilen in Spalte 2 und 3 innerhalb jeder Reihe beziehen sich auf die drei Fallhöhen, die oben angegeben sind.

Hilfsfaden	Fallzeit t s	Beschleunigung γ m	Östliche Abw. y mm
Doppelte Dicke . .	4,8	0,56	+ 0,65 beob.
	7,9	0,49	+ 1,27 ber.
	10,0	0,46	$\Delta = -0{,}62$
Einfache Dicke . .	4,6	0,59	+ 0,72 beob.
	7,7	0,51	+ 1,27 ber.
	9,6	0,50	$\Delta = -0{,}55$
Drittel Dicke . . .	4,4	0,65	+ 1,00 beob.
	7,1	0,61	+ 1,36 ber.
	9,1	0,56	$\Delta = -0{,}36$

Betrachtet man in jeder Versuchsreihe nur die größte Fallhöhe (die dritte Zahl), so ersieht man, daß mit geringerer Fadendicke die Fallzeiten stetig abnehmen, die Beschleunigungen hingegen zunehmen. Das letztere zeigt sich noch klarer in den

drei Mittelwerten γ_0 der Beschleunigung, die in Formel 2) eingesetzt wurden, um die berechneten östlichen Abweichungen in der vierten Spalte zu erhalten:

$$\gamma_0 = 0{,}50, \quad \gamma_0 = 0{,}54, \quad \gamma_0 = 0{,}61 \text{ m}.$$

Das Hauptergebnis der dritten Spalte besteht darin, daß die Beschleunigung des Falles durch keinen der drei Hilfsfäden konstant gehalten wurde, auch nicht wuchs, sondern abnahm. In der ersten Versuchsreihe, wo das treibende Übergewicht konstant gehalten wurde, konnte das erwartet werden. Bei allen dreien kommt aber noch der Widerstand in Rechnung, den die Abwicklung des Hilfsfadens vom Kegel und dessen wirbelnde Bewegung in der Luft hervorrufen. Von dieser Wirbelbewegung sogleich mehr.

Die lehrreichste Spalte ist die vierte. Zunächst ergibt sich, daß die beobachtete östliche Abweichung mit der berechneten um so besser stimmt, je dünner der Hilfsfaden ist, denn die Differenz Δ nimmt ab. Bei den Versuchen ohne Hilfsfaden war $\Delta = +0{,}01$.

Weiter aber ersieht man aus der vierten Spalte, daß die Differenzen Δ in allen drei Versuchsreihen negativ ausfielen, mit andern Worten, daß die östliche Abweichung des fallenden Gewichtes mit den Hilfsfäden immer zu klein beobachtet wurde.

Die Erklärung dieser Erscheinung wird teilweise in der Abwicklung des Hilfsfadens vom Kegel zu suchen sein. Die Abwicklung beginnt nahe am Kegelscheitel, wo die Windungen noch klein sind. Schon dort wird dem Faden eine Wirbelbewegung erteilt, die immer größer wird und schließlich die Windungen auf dem Kegel an Weite übertrifft. Der Faden verläßt den Kegel nicht in vertikaler Richtung, er wird vielmehr in nahezu horizontaler Richtung vom Kegel weggeschleudert. Die Folge ist, daß der steigende Faden, anstatt eine gerade Linie zu bilden, die Form einer konischen Spirale annimmt.

Nun muß noch erwähnt werden, daß die Scheibe der Rolle in der Ost-West-Ebene liegt und daß der Rollfaden auf der Ostseite herabsteigt. Daraus scheint zu folgen, daß der durch die Spirale erzeugte Luftstrom den absteigenden Faden nicht abstößt, sondern anzieht, als ob innerhalb der Spirale die Luft verdünnt würde. Der Vergleich mit den trichterförmigen Tornados von Nordamerika liegt nahe, und das bei diesen großen Trichtern festgestellte Aufsaugen der äußeren Luft bildet wahrscheinlich die teilweise Erklärung unserer Beobachtung.

Die Schlußfolgerung aus den drei Versuchsreihen ist die, daß es für quantitative Beweise der Erddrehung nutzlos wäre, noch dünnere Hilfsfäden zu verwenden. Bis jetzt entspricht die im *Appendix II* veröffentlichte Messungsart, bei der kein Hilfsfaden gebraucht wurde, der Theorie am besten. Trotzdem sollte der Versuch nicht aufgegeben werden, die Beschleunigung der Fallmaschine konstant zu machen, entweder nach Schobers Vorschlag durch einen Faden, der beide Gewichte unten verbindet, bei hinreichend großer Rolle, um Schlingen zu vermeiden, oder durch einen Windfang, der an der Rolle anzubringen wäre. Dieser Windfang würde einen Widerstand einführen, der im Verhältnis zum Quadrat der Fadengeschwindigkeit wächst; er müßte aber gegen die Windrichtung verstellbar sein, damit die Größe des Widerstandes so geändert werden kann, bis er die Wirkung des Übergewichtes aufhebt, das der Rollfaden verursacht. Bei unserer Rolle wäre keine dieser beiden Vorrichtungen anwendbar.

Umgekehrt ist für qualitative Beweise der Erddrehung, z. B. in Museen oder Vorlesungsräumen, in jedem Fall ein Hilfsfaden zu empfehlen, schon wegen der Leichtigkeit, mit welcher der Versuch vorbereitet und sogleich wiederholt werden kann. Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß die beobachteten und die berechneten Werte von y bei allen Versuchen gleiche Vorzeichen hatten, daß also der Versuch qualitativ immer gelungen ist.

Für einen größeren Zuschauerkreis wird der Theodolit besser durch eine Anordnung ersetzt, die Dr. Gianfranceschi, Professor der Physik an der Gregorianischen Universität, angewandt hat. Bei Wiederholung unserer Versuche versah er den unteren Teil des Fallgewichts mit einer Nadelspitze, deren Richtung mit der Längsachse des Gewichts genau zusammenfiel. Auf einem Tisch lag eine Zeichnung von engen konzentrischen Kreisen mit einem Achsenkreuz, das seinen Durchschnitt genau unter der ruhenden Nadelspitze hatte und nach Nord-Süd und Ost-West gerichtet war. Das Fallgewicht schlug jedesmal ein Loch östlich vom Mittelpunkt. Der Versuch wurde mit Anwendung unseres Hilfsfadens oft wiederholt; dabei kamen die Löcher so nahe aneinander, daß es sich empfahl, jedesmal eine neue Zeichnung unterzulegen.

Bücherbesprechungen.

Reichsamt für Landesaufnahme; Jahresbericht für 1920/21. 100 S. 8° mit 4 Beil. Verlag des Reichsamts f. Landesaufnahme. Berlin 1922.

Dieser zweite Jahresbericht des umgestalteten Reichsamts für Landesaufnahme (über den ersten vgl. mein Referat in *dieser Zeitschrift.* **4?.** *S. 29. 1922*) führt zuerst die neue Organisation näher vor Augen und bespricht dann kurz die Tätigkeit der einzelnen Abteilungen (trigonometrische, topographische, photogrammetrische, kartographische usf.; auch die sächsische Landesaufnahme ist in den Verband des Reichsamtes übergegangen, während die bayrischen und württembergischen topographischen Einrichtungen selbständig weiterbestehen). In diesen Abschnitten, die selbstverständlich alle über nicht genügendes Personal und nicht genügende Mittel, über die Unsicherheit aufgestellter Arbeitspläne infolge der Geldentwertung zu klagen haben, findet sich vieles auch für die Leser *d. Z.*, wie für weitere Kreise Wichtiges.

So mag angeführt sein, daß die Wiederholung der Einwägungen alter Linien im Bergbaugebiete von Rheinland und Westfalen (vier Schleifen von 134 bis 214 km Umfang innerhalb einer großen sie umspannenden mit 400 km Umfang) mit zwangsweiser Einpassung ins alte Netz der als standsicher anzunehmenden Knotenpunkte (wobei also die wesentlich höhere Genauigkeit dieser neuen Nivellierungen im Vergleich mit den alten naturgemäß nicht in Erscheinung tritt) zugleich zur allmählichen Schaffung eines neuen Netzes grundlegender Einwägungslinien dient, indem die Ergebnisse der neuen Linien auch ohne jenen Ausschlußzwang festgestellt und veröffentlicht werden. Wenn das neue Netz bis zu den Landesgrenzen ausgedehnt sein wird, was freilich erst in einer Reihe von Jahren zu erwarten, werden damit von selbst die Höhenzahlen des alten Systems allgemein außer Gebrauch kommen. Die neuen Linien geben, nach den internationalen Formeln von 1912 berechnet,

als mittl. zufäll. 1 km-Fehler $\pm$ 0,32 mm,
„ „ systemat. 1 „ „ $\pm$ 0,05 „ , also hervorragend günstige Zahlen.

Die erste Kontrolle des „N. H. von 1912“ östlich von Berlin, 7 Jahre nach seiner Festsetzung und Versicherung, hat in diesen Festlegungen des neuen Normalhöhenpunktes kein Zeichen einer Veränderung erkennen lassen.

Die photogrammetrische Abteilung berichtet von einer neuen Aufnahme auf dem festen Erdboden (natürlich stereophototopographisch) und von Ausarbeitung der vorjährigen Aufnahme bei Lebus

im Maßstab 1 : 5000. Nach den Genauigkeitsuntersuchungen bei Frankfurt wird berichtet, daß „die relativen Entfernungsfehler $< \frac{5}{10000}$ bleiben"; über die Höhen wird keine Angabe gemacht. Bei der Phototopographie aus der Luft wird zuerst eine Karte in 1 : 7500 vom Ostteil der Insel Wangeroog und dem östlich und südöstlich von der Insel liegenden Wattengebiet, mit der weitgehenden Forderung von *0,5 m*-Höhenlinien erwähnt. Man darf auf die Ergebnisse sehr gespannt sein; auch hier wären z. B. sehr erwünscht eingehende Nachweise über die tatsächlich erreichten Genauigkeiten in Lage und Höhe, sowie Einzelheiten über die Art der Aufnahme und der Planherstellung. — Die Weiterführung des aerotopographischen Stadtplans von Berlin 1 : 10000 mußte eingestellt werden. Auch die Abteilung: Landesaufnahme Sachsen (s. oben), die u. a. die Vollendung der Meßtisch-Aufnahme von Sachsen 1 : 25000 berichten kann, bringt eine kurze Mitteilung über die aerotopographische „Vergleichung 1 : 10000", die im Herbst 1920 in der Gegend von Elterlein im Erzgebirge nach dem Hugershoffschen Verfahren (Autokartograph) angestellt wurde. Die Ergebnisse sind bisher nicht ausführlich veröffentlicht; auch jetzt wird nur angegeben, daß sich als m. F. einer einmal autokartographisch gemessenen 100 m-Strecke ± 0,6 m und als m. F. einer einmal ebenso gemessenen Höhe ± 1,2 m ergeben habe, über Zeit und Kosten dieser Messung im Vergleich mit Aufnahmen auf der Erde soll jedoch erst später berichtet werden.

Mit Freuden zu begrüßen sind die Bestrebungen der Landesaufnahme (kartogr. Abtlg.), die amtlichen Kartenwerke großen Maßstabes für den Unterricht im Kartenlesen, in topographischer Anschauung, in der Heimatkunde auf allen Stufen von der Volksschule bis zur Hochschule in weitem Maße nutzbar zu machen.

Von den Anhängen, vier Aufsätze von Mitgliedern des Reichsamts, über Winkelteilung, Ausmessung fehlerhaft angelegter Platten, Fortführung der Kartenwerke und endlich Neue Wege der amtlichen Kartographie, kann im Sinn dieser Zeitschr. hier nur der erste, von Reg.-Rat Prof. Degener über die *dezimale Unterteilung des alten Grades*, erwähnt werden; es ist eine Rechtfertigung des von der Preuß. Landesaufnahme 1917 unternommenen Versuchs der Einführung der dezimalen Teilung des alten Grades als „*Einheitsteilung*" des Winkelmaßes der *Praxis*. Demgemäß sind Äußerungen von Dritten in den Vordergrund gerückt, die diese Absicht billigen oder wenigstens keinen Einwand dagegen erheben, wobei übrigens die Urheber z. T. nur, ohne Namensnennung, als „bedeutende Firma", „Großfirma", „Direktor einer unserer ersten Sternwarten" bezeichnet werden. Es ist nicht versucht, die Frage nach ihrer ganzen Ausdehnung unparteiisch ins Auge zu fassen; z. B. nicht einmal angeführt, welch große Vorteile die sexagesimale Zerlegung des Grades im Vergleich mit der zentesimalen für den *Nonius* hat, als ob alle Kreisteilungen durch Skalen- oder Schraubenmikroskope abgelesen würden, während $^9/_{10}$ aller Winkelmessungen mit Nonientheodoliten zu machen sind. Ferner ist nicht einmal die geradezu krasse Inkonsequenz angeführt, die darin liegt, daß doch ziemlich allgemein die *geometrische* Anschauung vom *rechten* Winkel, nicht die *mechanische* vom vollen Winkel als der Einheit des praktischen Winkelmaßes, als maßgebend anerkannt ist, daß nun aber nicht diese Einheit, sondern aus historischen Gründen ihr 90ster Teil als „Einheit" für die altneue „Einheitsteilung" zugrundgelegt werden soll. Können wir damit nicht sicher sein, daß, wenn die „alte" Teilung verlassen werden soll, der Einführung der altneuen Mischteilung in nicht ferner Zeit eine abermalige Änderung folgen müßte? Nicht wenige Sätze des Verf. fordern so zum Widerspruch heraus, ja manche sind kaum verständlich; z. B. der, daß es „ungewiß erscheine", ob ein Vorzug der „neuen" Teilung (zentesimale Teilung von 1^g), die vereinfachte „Quadrantenrelation", „über den Kreis der ungeübteren Rechner hinaus besondere Wertung findet". Nicht wenige und geübte geodätische Rechner sehen gerade in dieser Vereinfachung der Quadrantenrelationen einen der Hauptvorzüge der neuen Teilung.

Hammer.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

6. Heft: Juni.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1923.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 1600,— für den Monat Juni 1923 zuzüglich Bezugsgebühren bezogen werden. Über die Auslandspreise siehe Beilage im Februarheft.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung. Preis für Inland-Anzeigen M. 2050,— für die einspaltige Petitzeile.

Bei jährlich	3	6	12 mal.	Aufnahme
	10	20	30 %	Nachlaß.

Ausland-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Anzeigen werden von der Verlagshandlung sowie von den Anzeigengeschäften angenommen.

Beilagen werden nach einer mit der Verlagshandlung zu treffenden Vereinbarung zugefügt.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro-Konto. — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 935 Julius Springer.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **Juni 1923.** Sechstes Heft.

Hilfsmittel zur Erkundung für stereophotogrammetrische Aufnahmen.

Von

Dr. **Otto v. Gruber** in Jena.

Bei der Erkundung von Standlinien für stereophotogrammetrische Aufnahmen sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

1. Gute Einsicht in das aufzunehmende Gelände,
2. Länge der Standlinie, so daß die Ausarbeitung eine gewünschte Mindestgenauigkeit gibt,
3. Länge der Standlinie, so daß ausreichender stereoskopischer Effekt entsteht,
4. Anschluß an ein trigonometrisches Netz oder einen Polygonzug,
5. Aufnahme mit einem bestimmten Aufnahmegerät. Dabei Lage der Standlinie gegenüber dem aufzunehmenden Gelände, so daß mit einem Minimum an Standlinien ein Maximum an Fläche aufgenommen wird,
6. Ausarbeitung mit einem bestimmten automatischen Auswertegerät.

Die Lösung dieser Erkundungsaufgaben ist am einfachsten zu erreichen durch eine vorangehende Begehung des aufzunehmenden Geländes und eine darauf folgende besondere Erkundung auf den das Gelände beherrschenden Höhen.

Ein Gang durch das aufzunehmende Gelände selbst zeigt, von welchen Höhen aus die begangene Trasse eingesehen ist, welche Höhen also für die Lage von Standlinien überhaupt in Frage kommen. Damit wird die erste Aufgabe gelöst. Es können aber auch noch weitere Aufgaben bei dieser Begehung gelöst werden. Die Lösung der zweiten und dritten Aufgabe hängt von dem Winkel ab, unter welchem von einem aufzunehmenden Geländepunkt aus die in Aussicht genommene Standlinie erscheint — parallaktischer Winkel —.

Die Fehlertheorie der stereophotogrammetrischen Aufnahme verlangt, daß zur Erzielung einer Genauigkeit von $1\,^0/_{00}$ des Abstandes von der Standlinie der parallaktische Winkel nicht kleiner sein soll als $1/f$, wobei f in Zentimeter auszudrücken ist und der Winkel im Bogenmaß gemessen wird. Für eine Aufnahmekammer mit der Brennweite $f = 20$ cm wird also der kleinste parallaktische Winkel $^1/_{20}$ oder $50\,^0/_{00}$ sein dürfen.

Das Maximum des zulässigen parallaktischen Winkels ist durch die Forderung bedingt, daß noch ausreichender stereoskopischer Effekt entstehen soll. Dies trifft im allgemeinen zu bis zu einer Größe des parallaktischen Winkels von $^1/_4$ oder $250\,^0/_{00}$.

Aus beiden Überlegungen folgt, daß die Standlinie vom aufzunehmenden Gelände aus unter einem parallaktischen Winkel zwischen 50 und $250\,^0/_{00}$ erscheinen soll. Zur Feststellung, ob zwei auf einer Höhe als mögliche Standpunkte erscheinende

Punkte innerhalb dieser Winkel liegen, dient ein Feldstecher mit „Strichplatte" (Fig. 1). Durch einen solchen wird ein Winkel zwischen den Richtungen nach zwei Punkten in Promille gemessen.

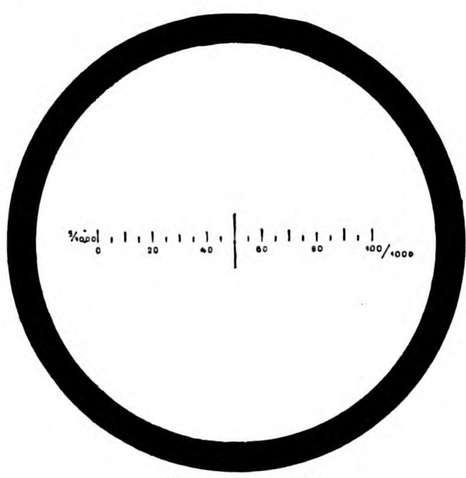


Fig. 1. Strichplatte.

Außer den ersten drei Aufgaben kann aber bei der Begehung des Geländes noch ein Teil der übrigen Erkundungsaufgaben gelöst werden. Soweit sich trigonometrische Netzpunkte in der Nähe der begangenen Trasse befinden, kann von diesen aus mit Hilfe eines Kompasses die Richtung nach den in Aussicht genommenen Standpunkten und weiteren Netzpunkten angenähert gemessen und damit ein guter Anhalt über die Gestalt des Netzes gewonnen werden. Man wird sich dabei darüber Klarheit verschaffen, in welcher Weise das etwa vorhandene Netz noch zu ergänzen wäre. Als Kompaß wird am zweckmäßigsten ein geologischer Kompaß mit Klinometer verwendet. Letzteres wird benötigt, um festzustellen, ob die Richtung von einem Geländepunkt nach einem in Aussicht genommenen Standpunkt oder auch umgekehrt nicht so steil ist, daß der Punkt auf der Photographie nicht mehr zur Abbildung gelangt — obere oder untere Gesichtsfeldgrenze. Für die Feldausrüstung der Firma Carl Zeiss, Modell *C* 3/*b* darf der Vertikalwinkel nach einem Punkt nicht größer als 25° sein.

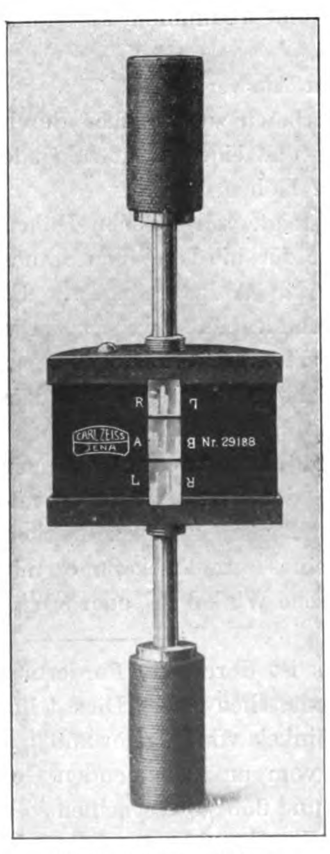


Fig. 2. Erkundungsprisma.

Über den Anschluß einer Standlinie an das trigonometrische Netz und über die günstigste Lage der Standlinie zum aufzunehmenden Gelände kann erst eine besondere Erkundung am Orte der Standlinie endgültig Aufschluß geben. Damit die Aufnahme eine möglichst große Fläche des aufzunehmenden Geländes umfaßt, muß das Gesichtsfeld der Aufnahmen gut ausgenützt werden. Dieses umfaßt für die Feldausrüstung Carl Zeiss, Modell *C* 3/*b*, bei normaler, rechts und links verschwenkter Aufnahmekammer seitlich ca. 106° im einzelnen Standpunkt und erstreckt sich je 53° rechts und links der Normalen zur Standlinie. Durch die Lage der Standlinie ist auch die Lage des aufgenommenen Gesichtsfeldes bestimmt. Es ist also notwendig, die Richtung der Standlinie entsprechend dem benötigten Gesichtsfeld zu wählen. Diese Wahl wird erleichtert durch das von Dipl.-Ing. Aschenbrenner entworfene und von der Firma Carl Zeiss ausgeführte Erkundungsprisma.

Das Erkundungsprisma (Fig. 2) besteht aus drei Teilprismen, die so konstruiert und angeordnet sind, daß man bei Benutzung im linken Standpunkt (*A*) der

Reihe nach untereinander sieht: über das Prisma weg die Richtung normal zur Standlinie, darunter im ersten Teilprisma die rechte Gesichtsfeldgrenze (*R*), im zweiten Teilprisma die Richtung nach dem rechten Standpunkt (*B*), darunter die linke Gesichtsfeldgrenze (*L*) der Aufnahme.

Bei Benutzung im rechten Standpunkt sieht man der Reihe nach: über dem Prisma die Richtung normal zur Standlinie, im ersten Teilprisma die rechte Gesichtsfeldgrenze (*R*), darunter den linken Standpunkt (*A*), darunter die linke Gesichtsfeldgrenze (*L*). Dabei sind die Gesichtsfeldgrenzen so angenommen worden, daß durch sie nur der beiden Standpunkten einer Standlinie gemeinsame Bildraum bezeichnet wird (Fig. 3). Es ist deshalb nicht nötig, Teile des so erkundeten Gesichtsfeldes durch andere Standlinien decken zu lassen.

Das Erkundungsprisma kann freihändig ohne jede Stütze gebraucht werden, da in jedem Teilprisma zweimalige Reflexion der Lichtstrahlen stattfindet, also eine Verdrehung des Instrumentes ohne merklichen Einfluß auf den Strahlengang ist (Fig. 4). Dimensionen und Gewicht des Erkundungsprismas sind so klein gehalten, daß es in jeder Rocktasche bequem mitgeführt werden kann.

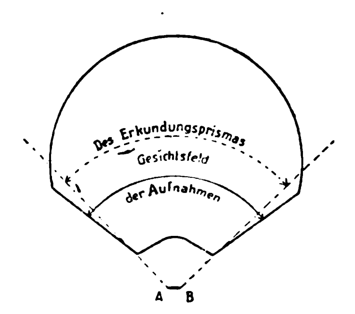


Fig. 3. Gesichtsfeld von Erkundungsprisma und Aufnahme.

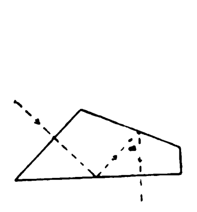


Fig. 4. Schema eines Teilprismas.

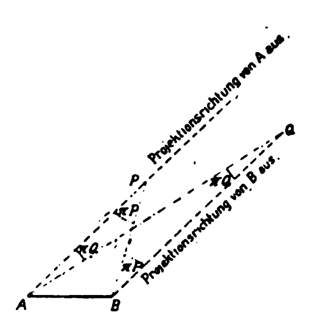


Fig. 5. Ermittlung der relativen Länge der Standlinie durch Projektion an das aufzunehmende Gelände.

Das Erkundungsprisma dient in erster Linie zur Lösung der fünften Erkundungsaufgabe, leistet aber darüber hinaus noch wertvolle Dienste zur Lösung der zweiten und dritten Aufgabe, wenn das aufzunehmende Gelände — z. B. unbegehbare Schlucht — nicht betreten werden kann. In diesem Falle läßt sich mit Hilfe des Prismas die Standlinie in das aufzunehmende Gelände hinaus projizieren und dann mittels der Strichplatte feststellen, ob diese Projektion von der Standlinie aus unter einem zulässigen parallaktischen Winkel erscheint (Fig. 5). Zu diesem Zwecke werden von den beiden in Aussicht genommenen Standpunkten aus im aufzunehmenden Gelände mittels des Prismas Punkte bestimmt, welche sich an der rechten oder linken Gesichtsfeldgrenze oder in der Richtung der Normalen zur Standlinie befinden. — Es werden von beiden Standpunkten aus verschiedene Punkte sein müssen —. Die mit der Strichplatte zwischen je zwei entsprechenden Punkten gemessenen Winkel sind die parallaktischen Winkel von den Punkten nach der Standlinie.

Der letzte bei der Erkundung zu berücksichtigende Gesichtspunkt, das Gerät für die Ausarbeitung, verlangt genäherte Kenntnis der absoluten Länge der Standlinie und genäherte Kenntnis der weitesten und kürzesten Entfernung des aufzunehmenden Gebietes von der Standlinie. Die absolute Länge der Standlinie kann in verschiedener Weise genähert erhalten werden; am einfachsten durch Abschreiten. Wenn dies nicht möglich, kann sie schon bei der Begehung des aufzunehmenden

Geländes dadurch ermittelt werden, daß man mittels des Erkundungsprismas die in Aussicht genommene Basis in das Gelände der Aufnahme projiziert und dort abschreitet (Fig. 6): Man wählt in der Normalen zur Blickrichtung nach dem einen Basisendpunkt ein Marschziel und schreitet solange darauf zu, bis man im Erkundungsprisma den anderen Standpunkt unter einem rechten Winkel zur Marschrichtung sieht. Die abgeschrittene Länge ist die der Standlinie. Dividiert man dann die abgeschrittene Länge (in Metern gerechnet) durch den nach der beabsichtigten Standlinie in pro Mille gemessenen parallaktischen Winkel, so erhält man außerdem die Entfernung nach der Standlinie in Kilometern. Analog erhält man natürlich auch die Entfernung der Standlinie von ihrer Projektion ins Gelände von der Standlinie aus. In einfacherer Weise werden diese Entfernungen sowie auch die genäherte Standlinienlänge durch Messung mit einem Stereotelemeter erhalten. Für die meisten Fälle genügt ein solches von 36 cm Basis bei achtfacher Vergrößerung.

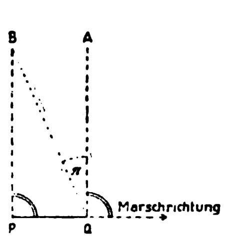


Fig. 6 Ermittlung der absoluten Länge der Standlinie durch Projektion auf die Marschrichtung.

Für die Ausarbeitung der Aufnahmen am v. Orel-Zeissischen Stereoautographen gilt als Regel: Für unmittelbare Ausarbeitung im gewünschten Kartenmaßstab darf die Länge der Standlinie in diesem Maßstab 72 mm, die weiteste Entfernung des Geländes 750 mm nicht überschreiten und die kürzeste Entfernung 80 mm nicht unterschreiten. Für Ausarbeitung am Stereoplanigraph der Firma Zeiss sind die Grenzen: Maximale Standlinienlänge im Kartenmaßstab 350 mm, Maximalentfernung 3000 mm, Minimalentfernung 18 mm.

Zusammenfassend gilt: Zur Lösung der bei Erkundung für stereophotogrammetrische Aufnahmen auftretenden Aufgaben sind zweckmäßige Hilfsmittel:

1. ein Feldstecher mit Strichplatte,
2. ein geologischer Kompaß mit Klinometer,
3. das Erkundungsprisma,
4. ein Stereotelemeter.

Von diesen Hilfsmitteln müssen die beiden ersten als schlechthin unentbehrlich bezeichnet werden, das dritte ist geeignet, Standlinien und damit Kosten zu ersparen, das vierte ist überall dort am Platze, wo keine Karten vorhanden sind, dann aber auch durch andere Hilfsmittel kaum zu ersetzen, da es in Verbindung mit dem Kompaß in kürzester Zeit die Aufnahme einer ersten orientierenden Kartenskizze ermöglicht[1]).

[1]) An Literatur vergleiche auch: O. Lacmann: Aus der Praxis der Raumbildmessung. *Zentralbl. d. Bauverw. 1922. Nr. 96. S. 589—592.* — F. Manek: Über den günstigsten Kartierungsmaßstab beim Stereoautographen s. *Internat. Arch. f. Photogrammetrie 5. S. 285—291. 1919.*

Zur Dioptrik der astronomischen Okulare.

Von
Prof. Dr. **Hugo Krüss** in Hamburg.

Die nachfolgenden kurzen Bemerkungen sind hervorgerufen durch Ausführungen Otto v. Grubers in *dieser Zeitschr. 43. S. 5. 1923.* Es wird dort die Wirkung zweier im Abstande e voneinander aufgestellter Linsen betrachtet, einer bikonvexen und einer bikonkaven von derselben Brennweite und die Gleichung aufgestellt

$$D = d^2\, e,$$

worin d die Dioptrienzahl jeder einzelnen Linse, D diejenige des ganzen Systems bedeutet. Als Beispiel wird d zu 25 Dioptrien angenommen und darauf folgende Tabelle mitgeteilt:

e in mm	2,5	3,2	4,0	8,0	16,0	20,0
Gesamtbrennweite in cm . .	64	50	40	20	10	8

Diese Zahlen sind richtig. Aber es fehlt die Angabe, in welchem Maß e in obiger Formel ausgedrückt werden muß. Durch das gegebene Beispiel kommt man leicht in Versuchung, e in Millimeter auszudrücken. Das ist falsch, da leicht ersichtlich ist, daß e in Metern ausgedrückt werden muß.

Aber wenn man dann auch ziffernmäßig richtige Ergebnisse aus der Formel erhält, so ist sie deshalb nicht ganz einwandfrei, weil die Werte zu beiden Seiten des Gleichheitszeichens verschiedene Dimensionen haben. D ist eine lineare Größe, d^2 dagegen eine quadratische, sie bleibt quadratisch, wenn sie auch mit irgendeinem e multipliziert wird, und eine lineare Größe kann niemals gleich einer quadratischen sein.

Um diesen Mangel zu beheben, muß e ebenfalls in Dioptrien ausgedrückt werden. Der Wert sei d_e, dann wird die Gleichung

$$D = \frac{d^2}{d_c},$$

und alles ist in Ordnung.

Es handelt sich bei den Gruberschen Ausführungen um ein Zusatzsystem, durch welches wie beim Teleobjektiv mittels Veränderung der Größe e, des Abstandes der beiden Linsen voneinander, die Brennweite des Systems und damit die Vergrößerung verändert werden kann. Es ist nur auffallend, daß Gruber hier die Brechkraft der Linse in Dioptrien einführt. Diese Betrachtung hat sich allerdings in der Brillenoptik glänzend bewährt, in der Linsenoptik, bei optischen Instrumenten, war sie bisher nicht üblich, und ist hier auch nicht erforderlich, da z. B. in dem vorliegenden Falle man durch Einführung der Brennweite anstatt der Dioptrien auf ebenso einfache Ausdrücke gelangt.

Das soll gezeigt werden an dem Beispiel zweier hintereinander gestellter Linsen in einem Abstand voneinander, eine Zusammenstellung, wie sie in den Okularen verkörpert wird. Die ganze Materie ist außerordentlich einfach, die rein elementare Aufgabe kann von jedem leicht gelöst werden. Trotzdem mag die Wiedergabe hier manchem Praktiker erwünscht sein, zumal die modernen Lehrbücher der Physik und der Optik wohl den Strahlenverlauf in den verschiedenen Okularen angeben, aber nicht die Berechnung der Wirkung des ganzen Okulars aus derjenigen seiner Elemente. In älteren optischen Werken findet man die letzten Aufgaben häufiger behandelt, nicht selten in außerordentlich umständlicher Weise. Am besten findet sich J. J. Prechtl in seiner Praktischen Dioptrik, Wien 1828, S. 185 damit ab, doch kannte er noch nicht die von Möbius[1]) für dünne Linsen und von Gauss[2]) allgemein begründete Definition der Haupt- und Brennpunkte eines optischen Systems und als den Abstand derselben voneinander der Brennweite. Prechtl bezeichnete vielmehr als Brennweite eines Okulars den Abstand des Vereinigungspunktes parallel auf die erste Linse des Okulars fallender Strahlen von der zweiten Linse.

---

[1]) *Crelles Journ.* **5**. *S. 113. 1830.*

[2]) Dioptrische Untersuchungen. Göttingen 1841.

Am ausführlichsten behandelt L. Ambronn den vorliegenden Gegenstand[1]). Er geht von dem von dem Objektiv kommenden Strahlenbündel aus und betrachtet seinen Weg durch das Okular, welches es dann als paralleles Strahlenbündel verläßt. Für den Praktiker scheint es mir erwünscht, das Okular unabhängig vom Objektiv zu betrachten und einmal seine eigene Brennweite festzustellen, von welcher die Vergrößerung in Verbindung mit einem Objektiv von bestimmter Brennweite abhängt und ferner die Lage des Vereinigungspunktes, in welchem die Gesichtsfeldblende, das Fadenkreuz oder mikrometrische Meßeinrichtungen angebracht werden müssen.

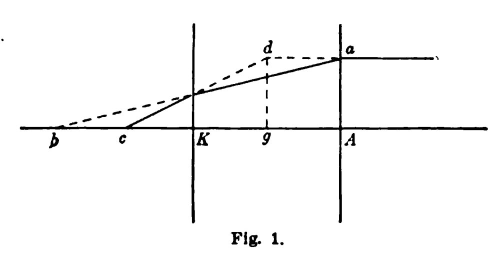


Fig. 1.

Zu diesem Zweck sei für zwei Linsen mit positiver Brennweite angenommen, daß ein der optischen Achse paralleler Strahl in a auf die Augenlinse A (Fig. 1) mit der Brennweite f_1 fällt. Nach der Brechung durch diese Linse schneidet er die Achse in dem Punkte b, so daß $Ab = f_1$ ist. Die Kollektivlinse K mit der Brennweite f_2 sei in der Entfernung $AK = e$ von der Linse A aufgestellt. Durch sie wird der Strahl ab gebrochen, so daß er die Achse in c schneidet. Die Strecke $Kc = w$ ist die Vereinigungsweite des Okulars, ist der Abstand des Vereinigungspunktes c von der Kollektivlinse. An seinem Ort ist das Fadenkreuz aufzustellen.

Verlängert man den auf c zielenden Strahl nach rückwärts, bis er die Verlängerung des auf die Augenlinse in a parallel der Achse einfallenden Strahles in d schneidet und fällt man von d das Lot dg auf die Achse, so ist $cg = F$ die Gesamtbrennweite des Okulars.

Aus der Figur ergibt sich nun leicht

$$w = \frac{f_2(f_1 - e)}{f_2 + (f_1 - e)}$$

und

$$F = \frac{f_1 f_2}{f_2 + (f_1 - e)}.$$

Der bisher betrachtete Fall bildet den Typus der Ramsdenschen Okulare. Für die Verhältnisse seiner Abmessungen wird häufig angegeben

$$f_1 : e : f_2 = 5 : 4 : 9$$ [2]),

so daß

$$e = \tfrac{4}{5} f_1 \quad \text{und} \quad f_2 = \tfrac{9}{5} f_1$$

sein soll.

Dann wird

$$w = \tfrac{9}{50} f_1 ; \quad F = \tfrac{9}{10} f_1 .$$

Nimmt man $F = 100$ an, so muß sein $f_1 = 111$, $f_2 = 200$, $e = 89$ und der Abstand des Vereinigungspunktes von der Kollektivlinse wird dann $w = 20$.

Bei seiner Beschreibung des Ramsdenschen Okulars führt Ambronn nicht die vorstehenden Maßverhältnisse an, sondern teilt mit, daß die beiden Linsen die gleiche Brennweite besitzen. Ramsdensche Okulare dieser Anordnung sind in der Tat sehr verbreitet. Nimmt man dementsprechend $f_2 = f_1 = f$, so wird

$$w = \frac{f(f - e)}{2f - e} ; \quad F = \frac{f^2}{2f - e} .$$

---

[1]) Handbuch der astronomischen Instrumente. Berlin 1899. *S. 350 u. 351.*

[2]) C. M. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde. Stuttgart 1873. *S. 96.*

Sehr häufig wird $e = \frac{2}{3} f$ genommen, so daß dann

$$w = \tfrac{1}{4} f; \quad F = \tfrac{3}{4} f,$$

also $w = \frac{1}{3} F$ ist. Bei gleicher Brennweite wie im ersten Zahlenbeispiel ist also dieses letztere Okular insofern günstiger, weil der Vereinigungspunkt c weiter von der Kollektivlinse absteht.

Es ist · nicht ohne Interesse, die Wirkung verschiedener Abmessungen der Entfernung e der beiden Linsen voneinander festzustellen.

Entfernung beider Linsen e .	0	0,25 f	0,50 f	0,75 f	1,00 f
Vereinigungsweite w	0,50 f	0,40 f	0,33 f	0,20 f	0
Gesamtbrennweite F	0,50 f	0,57 f	0,67 f	0,80 f	1,00 f

Wenn die beiden Linsen sich unmittelbar berühren, wirken sie wie eine Linse von halber Brennweite, Vereinigungspunkt und Brennpunkt fallen zusammen. Bei wachsender Entfernung der beiden Linsen voneinander wird die Gesamtbrennweite größer, das Okular also schwächer und der Abstand des Vereinigungspunktes von der Kollektivlinse immer kleiner. Wird endlich die Kollektivlinse im Brennpunkte der Augenlinse aufgestellt ($e = f$), so übt die Kollektivlinse gar keine Wirkung mehr auf die Brechkraft des Okulars aus, seine Gesamtbrennweite ist diejenige der Augenlinse.

Macht man $e = 2f$, so hat man ein teleskopisches System. C. Bohn[1]) empfiehlt solches als Fernrohr ohne Vergrößerung, durch welches man von beiden Seiten sehen kann, für Nivellier-Instrumente. Das Fadenkreuz befindet sich dabei im gemeinschaftlichen Brennpunkt der beiden Linsen.

Für den Praktiker ist es von Interesse, wie die Abmessungen dieses sehr viel angewandten Okulars sich bei gegebener Brennweite stellen, wenn die Entfernung der beiden Linsen voneinander verschieden gewählt wird.

Bei einer Gesamtbrennweite des Okulars $F = 100$ ergibt sich folgendes:

Abstand der beiden Linsen e . .	0	25	50	75	100
Vereinigungsweite w	100	87	70	50	0
Brennweite jeder Linse f	200	187	170	150	100

Während also in Übereinstimmung mit der vorherigen Zusammenstellung bei wachsender Entfernung der beiden Linsen voneinander der Abstand des Vereinigungspunktes von der Kollektivlinse, die Größe w immer kleiner wird, muß auch die Brennweite jeder der beiden Linsen kleiner werden, um die gleiche Gesamtbrennweite zu erzielen. Man hat es also in der Hand, bei einer bestimmten Vergrößerung, die das Okular in Verbindung mit einem Objektiv hervorbringen soll, durch entsprechende Wahl des Abstandes der beiden Linsen voneinander den gewünschten Abstand des Vereinigungspunktes von der Kollektivlinse herbeizuführen.

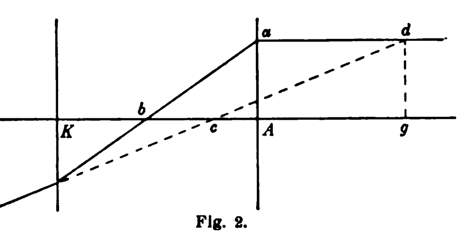


Fig. 2.

Schreitet man nun weiter fort in der Vergrößerung von e, so daß also e größer als f und $f - e$ negativ wird, so gelangt man zu dem zweiten Typus der zweilinsigen astronomischen Okulare, zum Huyghensschen Okular (Fig. 2). Hier schneidet der parallel der Achse in a auf die Augenlinse A fallende Strahl nach Brechung durch diese Linse die Achse in dem Punkte b zwischen beiden Linsen in der Entfernung f_1 der Brennweite der Augenlinse. Hier ist der Ort für die Anbringung der Gesichtsfeldblende, des Fadenkreuzes oder mikrometrischer

[1]) *Diese Zeitschr.* **2.** *S. 7. 1882.*

Meßeinrichtungen. Mechanisch steht dem kaum ein Hindernis entgegen, optisch kann man allerdings annehmen, daß die durch die Augenlinse allein erzeugten Bilder nicht so vollkommen sind wie diejenigen des zweilinsigen Ramsdenschen Okulars. Die Praxis zeigt aber, daß sie genügend sind, was an den Mikrometerokularen der Mikroskope bewiesen wird.

Der von der Augenlinse A kommende Strahl wird dann durch die Kollektivlinse K zur Achse gebrochen und schneidet in seiner rückwärtigen Verlängerung die Achse in c, den auf die Augenlinse in a auffallenden Strahl in d, so daß die Vereinigungsweite $Kc = w$ negativ wird und die Brennweite $= cg$ ist.

Die am Anfange dieser Betrachtung entwickelten Formeln für w und F gelten natürlich ohne weiteres auch für das Huyghenssche Okular.

Für das Verhältnis der Abmessungen des Huyghensschen Okulars wird in der Literatur angegeben, daß sein soll

$$f_1 : e : f_2 = 1 : 2 : 3,$$

also

$$e = 2 f_1 \quad \text{und} \quad f_2 = 3 f_1.$$

Auch hier sollen für verschiedene Größen von e, d. h. verschiedene Abstände der beiden Linsen voneinander die Vereinigungs- und Brennweite gegeben werden.

Entfernung beider Linsen e .	$1{,}5 f_1$	$2 f_1$	$2{,}5 f_2$	$3 f_1$	$4 f_1$
Vereinigungsweite w	$-0{,}6 f_1$	$-0{,}5 f_1$	$-3 f_1$	$-6 f_1$	∞
Gesamtbrennweite F	$1{,}2 f_1$	$1{,}5 f_1$	$2 f_1$	$3 f_1$	∞

Ebenso wie bei dem Ramsdenschen Okular wird hier die Gesamtbrennweite mit Vergrößerung des Abstandes der beiden Linsen voneinander größer, das Okular also schwächer. Wird $e = 4 f_1$ gemacht, so liegt der Punkt b im Brennpunkte der Kollimatorlinse, die Strahlen verlassen diese Linse parallel zur Achse, die Gesamtbrennweite ist unendlich groß, wir haben ein teleskopisches System.

Nimmt man die Gesamtbrennweite $F = 100$ an, so ergibt sich $e = 133$, $w = -150$ und die Brennweiten der beiden Linsen müssen $f_1 = 67$ und $f_2 = 200$ sein.

Das Huyghenssche Okular wird fast ausschließlich bei Mikroskopen angewendet, doch werden hier nicht, soweit ich es übersehen kann, die Verhältnisse $f_1 : e : f_2 = 1 : 2 : 3$ benutzt, sondern der Abstand der beiden Linsen voneinander, also die Länge des Okulars ist häufig etwas kürzer und die Brennweite der Kollektivlinse im Verhältnis zur Brennweite der Augenlinse bedeutend kleiner.

Nun sei noch der eingangs erwähnte Fall betrachtet, den Gruber behandelt, nämlich daß die zweite Linse negativ ist. Diese Zusammenstellung kommt allerdings für Okulare nicht zur Anwendung.

In der ursprünglichen Formel ist dann f_2 mit dem Minuszeichen zu versehen, so daß wird

$$w = \frac{-f_2 (f_1 - e)}{-f_2 + (f_1 - e)}$$

$$F = \frac{-f_1 f_2}{-f_2 + (f_1 - e)} = \frac{f_1 f_2}{f_2 - f_2 = e}.$$

Nimmt man mit Gruber die beiden Linsen mit gleich großer Brennweite an, also $f_2 = -f_1$, so ergibt sich

$$w = \frac{f_1 (f_1 - e)}{e} \quad \text{und} \quad F = \frac{f_1^2}{c}.$$

Der Ausdruck für die Gesamtbrennweite F hat dieselbe einfache Form, wie die von Gruber in Dioptrien aufgestellte Formel $D = \frac{d^2}{d_e}$. Setzt man in diese letztere $D = \frac{1}{F}$, $d = \frac{1}{f_1}$ und $d_e = \frac{1}{e}$, so geht sie unmittelbar in vorstehende Brennweitenformel über.

Der Strahlenverlauf ist in Fig. 3 wiedergegeben, wobei dieselben Buchstaben gewählt sind wie bei den Figuren 1 und 2. Man sieht, daß die Hauptpunktsebene vor der ersten Linse liegt. Das ist jedoch nicht immer der Fall, wie die folgende Zusammenstellung zeigt.

Entfernung beider Linsen e .	0	$0{,}25\,f_1$	$0{,}5\,f_1$	$0{,}75\,f_1$	f_1	$1{,}5\,f_1$
Vereinigungsweite w	∞	$+3\,f_1$	$+f_1$	$+0{,}33\,f_1$	0	$-0{,}33\,f_1$
Gesamtbrennweite F	∞	$4\,f_1$	$2\,f_1$	$1{,}33\,f_1$	f_1	$0{,}66\,f_1$

Berühren sich die beiden Linsen ($e = 0$), so heben sich ihre Wirkungen gegenseitig auf, bei Vergrößerung ihres Abstandes voneinander wird der Abstand des Vereinigungspunktes c von der letzten Linse, nämlich die Größe w, immer kleiner, ebenso die Brennweite. Wird $e = f_1$, so übt die negative Linse gar keine brechende Wirkung aus, die Gesamtbrennweite F ist $= f_1$ und die Hauptpunktsebene liegt infolgedessen in der ersten Linse A. Übersteigt dann die Entfernung der beiden Linsen voneinander die Größe der Brennweite f_1 der ersten Linse, so rückt der Vereinigungspunkt zwischen die beiden Linsen, und ebenso die Hauptpunktsebene. Dabei bleibt $F - w$ immer $= f_1$, wie auch aus der Formel unmittelbar hervorgeht.

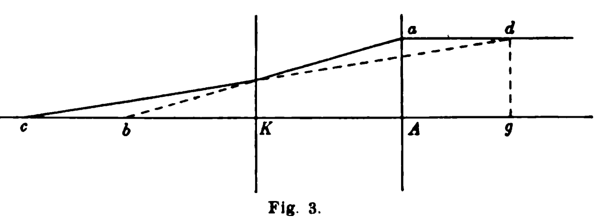


Fig. 3.

Die letzten Ausführungen können sinngemäß auch auf die Wirkung der Teleobjektive übertragen werden, wenn auch die beiden ein solches Objektiv bildenden Elemente, ein positives und ein negatives, nicht die gleiche Brennweite besitzen, und ebenso auf das Galileische Fernrohr, bei welchem, damit es ein teleskopisches System sei, die Brennpunkte des Objektives und des negativen Okulars zusammenfallen müssen, so daß, wenn man f_2 absolut nimmt, $e = f_1 - f_2$ ist.

Die Genauigkeit der Herstellung von Achszapfen bei horizontalen Fernrohrachsen von 12-cm-Theodoliten.

Von

Karl Lüdemann in Freiberg i. Sa.

(Mitteilung aus den Werkstätten für wissenschaftliche Präzisionsinstrumente der Max Hildebrand-G. m. b. H. in Freiberg i. Sa.)

Es ist verhältnismäßig einfach, die beiden Zapfen der Horizontalachse eines Theodolits innerhalb der Beobachtungsgenauigkeit des Instruments kreisrund herzustellen. Abweichungen von der Kreisform treten erst bei der Benutzung auf[1]).

[1]) Auf die Folgen solcher Abweichungen hat F. Baeschlin in seiner „Untersuchung über den Einfluß elliptischer Form der Horizontalachszapfen eines Theodoliten mit y-förmigen Lagern auf die Horizontalwinkelmessungen“ in *dieser Zeitschr.* **36.** *S. 285—293. 1919* aufmerksam gemacht.

Schwieriger ist es, den beiden Achszapfen genau den gleichen Durchmesser zu geben; praktisch werden sie stets einem Kreiskegel, nicht einem Zylinder angehören, ohne daß aber der dadurch hervorgerufene Fehler für die Zwecke der Land- und Feldmessung einen beachtenswerten Betrag erreicht[1]).

Bei der Abnahme von 25 Hildebrand-Einheitstheodoliten durch eine ausländische Vermessungsbehörde wurde trotz der genauen, bei der Reihenerzeugung doppelt sorgsam ausgebildeten Prüfeinrichtungen der Werkstatt der Nachweis der einwandfreien Beschaffenheit der Achszapfen in dieser Hinsicht verlangt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung seien unter Bezugnahme auf meine früheren Mitteilungen in *dieser Zeitschr.* ***40.*** *S. 49—56.* ***1920*** und ***42.*** *S.* ***243—245.*** ***1922*** über 12-cm-Nonientheodolite bekanntgegeben.

Die Beobachtungen wurden so angeordnet[2]), daß der Spielpunkt der benutzten Aufsatzlibelle mit einer Angabe von 9″,5 ± 0″,1 auf die Einheit p (1 Pariser Linie = 2,256 mm) unbekannt sein konnte. Für jedes Instrument wurden fünf voneinander unabhängige Bestimmungen des Winkels ζ gemacht, den die Zapfenachse mit einer Seite desjenigen geraden Kreiskegels bildet, dem die beiden Achszapfen als Kegelstumpf angehören. Die Winkel der Fußausschnitte und der Achslager betrugen je 90°. Die Länge der Scheitellinie war 90 mm. m_ζ ist der m. F. der Bestimmung von ζ. $R - r$ gibt den Unterschied der Halbmesser der beiden Achszapfen an.

Die gefundenen Ergebnisse, geordnet nach der Größe von ζ, zeigt die Zahlentafel[3]).

Lfd. Nr.	ζ p	ζ ″	m_ζ p	m_ζ ″	$R-r$ μ	Lfd. Nr.	ζ p	ζ ″	m_ζ p	m_ζ ″	$R-r$ μ
1	0,009	0,09	± 0,023	± 0,22	0,04	14	0,112	1,06	± 0,019	± 0,18	0,46
2	0,018	0,17	0,011	0,10	0,07	15	0,121	1,15	0,010	0,10	0,50
3	0,022	0,21	0,023	0,22	0,09	16	0,134	1,27	0,008	0,08	0,55
4	0,024	0,23	0,032	0,30	0,10	17	0,143	1,36	0,012	0,11	0,59
5	0,030	0,28	0,026	0,25	0,12	18	0,182	1,73	0,011	0,10	0,75
6	0,038	0,36	0,004	0,04	0,16	19	0,274	2,60	0,026	0,25	1,13
7	0,040	0,38	0,030	0,28	0,17	20	0,308	2,93	0,032	0,30	1,28
8	0,049	0,47	0,009	0,09	0,20	21	0,312	2,96	0,014	0,13	1,29
9	0,051	0,48	0,021	0,20	0,21	22	0,314	2,98	0,032	0,30	1,30
10	0,066	0,63	0,029	0,28	0,27	23	0,411	3,90	0,040	0,38	1,70
11	0,070	0,66	0,011	0,10	0,29	24	0,500	4,75	0,022	0,21	2,07
12	0,092	0,87	0,010	0,10	0,38	25	0,549	5,22	0,012	0,11	2,28
13	0,105	1,00	0,017	0,16	0,44						

Die Werte der Zahlentafel zeigen, daß die deutsche geodätische Feintechnik auch in dieser Hinsicht allen berechtigten Ansprüchen genügt und daß praktisch der aus der Ungleichheit der Achszapfen fließende Fehler bei Messungen mit diesen Theodoliten unberücksichtigt bleiben kann.

Aus den gesamten Beobachtungen sind noch abgeleitet worden:

m. F. der Ablesung eines Blasenendes der Libelle ± 0,030 p,

m. F. der Ablesung einer Blasenstellung der Libelle ± 0,042 p.

[1]) Diese Ansicht findet man z. B. bei a) E. Hammer, Lehrbuch der elementaren praktischen Geometrie I (Leipzig 1911), *S. 348—349.* b) W. Jordan-C. Reinhertz-O. Eggert, Handbuch der Vermessungskunde II. 8. Aufl. (Stuttgart 1914), *S. 271.*

[2]) Siehe Ch. A. Vogler, Geodät. Übungen II. 2. Aufl. (Berlin 1901), *S. 318—319*; 3. Aufl. (Berlin 1913), *S. 71—72.*

[3]) Bei derartigen Untersuchungen muß streng darauf geachtet werden, daß sowohl jede Achsenkreuzung der Aufsatzlibelle wie auch die geringste Unreinigkeit (Ölschicht usw.) der Achszapfen und der Aufsatzflächen der Libellen vermieden wird.

Die Anwendbarkeit der Eötvösschen Drehwage im Felde.

Von

Dr. D. Pekár, Direktor des „Bar. R. Eötvös Geophysikalischen Institutes" in Budapest.

In meiner Mitteilung „Die bei Feldmessungen angewendete Drehwage von Baron Roland v. Eötvös", in *dieser Zeitschrift 42. S. 173. 1922*, habe ich auf jene unzweifelhaften Nachteile hingewiesen, derenthalben die registrierende Beobachtung bei den Feldmessungen nicht zweckmäßig ist. Mit Freude sehe ich, daß es mir gelungen ist, die Aufmerksamkeit der Fachleute auf diese Frage zu lenken. Unter ihnen erörtert die Frage sehr eingehend Herr Prof. W. Schweydar in *dieser Zeitschr. 42. S. 179. 1922* und weist besonders auf die Vorteile der Registrierung hin. In seiner Abhandlung werden unsere zur visuellen Ablesung eingerichteten Apparate oft dahingestellt, als wenn sie überholt wären. Herr Schweydar bezeichnet die Registrierung als wesentliche Vervollkommnung und stellt fest, daß bei praktischen Messungen „nur Instrumente mit photographischer Registrierung in Frage kommen."

Dagegen habe ich schon in meiner vorigen Abhandlung erwähnt, daß unsere Feldmessungen schon ungefähr ein Vierteljahrhundert dauern, während welcher Zeit wir jährlich sehr ausgedehnte Gebiete ausführlich und genau vermessen haben, und zwar seit geraumer Zeit zu einem höchst praktischen Zwecke. Ich kann behaupten, daß es in der ganzen Welt kein Land gibt, in welchem so ausgedehnte und genaue Drehwagemessungen ausgeführt wurden, wie bei uns in Ungarn. Die Veröffentlichung der Messungsergebnisse ist leider wegen verschiedener Hindernisse bisher unterblieben; die Ungarische Akademie der Wissenschaften beabsichtigt jedoch, gerade jetzt zum Angedenken an Eötvös deren Veröffentlichung zu beginnen, die in möglichst kurzer Zusammenfassung in 7—8 dicken Bänden in Folioformat erfolgen wird. Fremde Fachleute begleiteten unsere Messungen beständig mit großem Interesse, besuchten uns auch öfters und erlernten auf diese Weise die Methode von Eötvös. Wir selbst aber sammelten bei diesen Feldmessungen immer mehr Erfahrungen, die wir dann, mit Laboratoriumsversuchen verbunden, zur allmählichen Vervollkommnung unserer Instrumente verwerteten.

In Erwiderung auf die Bemerkungen des Herrn Schweydar sei es mir erlaubt folgendes mitzuteilen. Es ist nicht zu leugnen, daß bei der visuellen Methode das Öffnen der Zelttür und der Aufenthalt des Beobachters während der Ablesung einige Temperaturstörung verursacht, aber nur im Zelte und nicht im Instrumente. Diese Störung beeinflußt die unmittelbar nach dem Eintritt abgelesenen Werte überhaupt nicht, und infolge ihres kleinen Betrages ist bis zu der in einer Stunde erfolgenden nächsten Ablesung genug Zeit zur völligen Ausgleichung der Temperatur. Die praktische Erfahrung hat unzweifelhaft gezeigt, daß dieser Umstand gar keinen störenden Einfluß hat. Bei unseren Instrumenten erfolgen alle Ablesungen an einer Seite des Apparates, so daß der Beobachter nicht um den Apparat herumgeht. Die Gefahr des Verlesens besteht nicht, wenn, wie wir es zu tun pflegen, der Beobachter nach der Aufzeichnung der abgelesenen Werte nochmals in die Fernrohre hineinblickt. Die vielen Vorteile der unmittelbaren Ablesung habe ich aber schon in meiner vorigen Abhandlung aufgezählt: ich kann das Instrument und dessen ungestörtes Funktionieren unmittelbar kontrollieren, die etwaige Störung beheben, so daß die Beobachtungsreihen immer brauchbar sind; die Beobachtungsergebnisse stehen mir unmittelbar zahlenmäßig zur Verfügung; die späteren Stationen können in Kenntnis der Ergebnisse

der vorangehenden zweckmäßig festgesetzt werden usw., und endlich kann ich hervorheben, daß die Handhabung unserer visuellen Instrumente und die Ausführung der Beobachtungen so einfach ist, wie man sich nur wünschen kann.

In seiner Mitteilung gibt auch Herr Schweydar zu, daß die Registrierung manchmal versagt. Die nachträgliche Wiederholung einiger ausgebliebener Stationen verursacht bei einem weitmaschigen Beobachtungsnetz im Falle schlechter Terrain- und Wegverhältnisse sehr beträchtlichen Zeitverlust und große Schwierigkeiten. Die praktischen Messungen werden manchmal in weniger kultivierten, weglosen Gebieten ausgeführt, wo dieser Umstand noch mehr in Betracht kommt.

Anfangs, bei den im Laboratorium gebrauchten Versuchsapparaten, hielt auch Eötvös die feine Einstellung an den Torsionsköpfen usw. für notwendig. Diese Instrumente, welche derzeit nur mehr geschichtlichen Wert haben, sind im Baron Roland Eötvös Geophysikalischen Institute auch jetzt noch vorhanden. Bei den Feldinstrumenten unterließ selbst Eötvös, abweichend von dem sonst allgemeinen Gebrauche, aus Zweckmäßigkeit die meisten feinen Einstellungen, was sich vortrefflich bewährte, da die Instrumente Jahre hindurch keiner neuen Einstellung oder Justierung bedurften.

Aus demselben Grunde ist die variable Dämpfung unzweckmäßig; die der nötigen Dämpfung entsprechende ein für allemal unveränderliche Einstellung ist vorteilhafter. Deshalb halte ich die Verbindung der Arretierung mit der Dämpfungsvorrichtung für unrichtig. Bei unseren ältesten vor 20 Jahren gebrauchten Modellen haben wir auch die unteren Gewichte herausgenommen und die Rohre abgeschraubt. Dieses Verfahren erwies sich bei den Feldmessungen aus verschiedenen Gründen als entschieden nachteilig, weshalb wir diese Einrichtung schon im Jahre 1911 abgeändert haben. Wir öffnen die Instrumente gar nicht und die volle Arretierung geschieht rasch und sicher von außen.

Da das Bambergsche Instrument ein ausgesprochen automatisch registrierender Apparat ist, wird die visuelle Beobachtung nur ausnahmsweise benützt und die dazu dienende Vorrichtung meistens nur zum Kontrollieren der Lichtpunkte gebraucht. Bei der Ablesung ist es aber jedenfalls unbequem, daß diese Vorrichtung etwas hoch angebracht ist.

Für die Stabilität unserer Instrumente haben wir natürlich auch gesorgt. Die Länge des eigentlichen Apparates in Richtung des Wagearmes ist dieselbe, wie bei dem Bambergschen Apparate und nur die beiden leichten Fernrohrarme ragen heraus. Dagegen liegen die Fußschrauben auf einem mehr als doppelt so großen Kreise, als beim Bambergschen Apparate. Bei unseren neueren Instrumenten verwendeten auch wir eine entsprechend längere Drehachse, als bei den älteren.

Dem Umstand, daß bei dem Bambergschen Instrumente infolge des sich selbstergebenden Lichtweges die Vergrößerung um $^1/_3$ stärker ist, als bei unseren Instrumenten, kommt keine besondere Bedeutung zu. Die Vergrößerung unserer Instrumente ist nämlich ganz genügend. Die Genauigkeit des Instrumentes hängt oberhalb der notwendigen Grenze nicht von der Vergrößerung ab, sondern in erster Reihe davon, in welchem Maße die Gleichgewichtslage des Wagebalkens gegen die äußeren störenden Wirkungen unempfindlich ist. Bei ein und demselben Instrumente steigere ich vergebens die Vergrößerung, da in diesem Falle auch die Ablesungswerte der störenden Wirkungen zunehmen und das Instrument garnicht genauer wird. Die Güte des Instrumentes hängt aber von gewissen aus langen Erfahrungen gewonnenen konstruktiven Kunstgriffen ab. Herr Schweydar

läßt diese wohl unberücksichtigt, wenn er sich über die Bambergschen Instrumente folgendermaßen äußert: „Die Genauigkeit der Messungen ist doppelt so groß, als bei den älteren Instrumenten.“ Diese Feststellung ist schon deshalb unbegründet, da dies nur durch Vergleichen der Beobachtungsreihen möglich ist und unsere Messungsergebnisse Herrn Schweydar unbekannt sind. Später werde ich mit zahlenmäßigen Beweisen klar legen, daß unsere „älteren“ Instrumente in der Genauigkeit die Bambergschen übertreffen.

Herr Schweydar kommt in seiner Abhandlung wiederholt auf die Behauptung zurück, daß ich den Bambergschen Apparat unrichtig beurteile, da mir „die Erfahrung mit der Anwendung der Photographie bei Feldmessungen fehlt“, worauf ich kurz einzugehen gezwungen bin. Ich befaßte mich sehr viel mit photographischer Registrierung; ich registrierte Jahre hindurch verschiedene wissenschaftliche Apparate und zwar nicht nur im Laboratorium, sondern auch im Freien. Eben deshalb kann ich behaupten, daß die Entwicklung und Handhabung der Platten im Felde umständlich und unbequem ist. Bei der visuellen Beobachtung stehen mir die zahlenmäßigen Daten unmittelbar zur Verfügung, wogegen beim Registrieren die Platten nachträglich auszumessen sind. Im allgemeinen bin ich der Meinung, daß die photographische Registrierung eher bei solchen Instrumenten zweckmäßig ist, die längere Zeit auf demselben Ort aufgestellt sind, als bei solchen, die man täglich oder noch öfter weiter befördert. Jene Fälle bilden natürlich Ausnahmen, bei denen die Registrierung unvermeidbar ist, weil man während der Beobachtungszeit aller Punkte der Registrierkurve, bzw. der vollständigen Kurve bedarf. Ferner ist ein Feldinstrument um so zweckmäßiger, je einfacher und zuverlässiger die Konstruktion und je leichter die Handhabung ist. Es ist unzweifelhaft, daß die bei der visuellen Beobachtung benutzten beiden Fernrohre unverhältnismäßig einfacher sind als die ziemlich verwickelte Registrierungs- und automatische Umdrehungsvorrichtung. Die beiden Fernrohre sind in der Handhabung eines intelligenten Mannes vollkommen verläßlich, wogegen man dies von einer noch so vollständig konstruierten automatischen Vorrichtung nicht behaupten kann. Die automatische Vorrichtung bedeutet eine neue unnötige Fehlerquelle, infolgedessen einige Beobachtungsreihen unbrauchbar werden können. Die Handhabung unserer visuellen Apparate und die Ausführung der Beobachtungen ist so einfach, daß sie ein jeder intelligente Mann schnell erlernen kann, und sie ist jedenfalls viel einfacher als die Handhabung und Instandhaltung des automatischen Instrumentes, wozu laut Mitteilung des Herrn H. Gornick[1]) ein zuverlässiger und gut durchgebildeter Mechaniker nötig ist.

Zuletzt erwähne ich nur, daß außer mir auch andere Fachleute die photographische Registrierung für beschwerlich und unzweckmäßig halten, daß z. B. meines Wissens die „Erda-Gesellschaft“ aus demselben Grunde das visuelle Instrument gebraucht.

Nun will ich einige Fragen etwas eingehender behandeln, die eben hinsichtlich der praktischen Messung wichtig sind. Bei den Fachleuten der Praxis habe ich nämlich mehrmals die irrige Auffassung gefunden, daß, indem man mit der Drehwage auf dem zu untersuchenden Gebiete einige beiläufige Messungen verrichtet, der Ort der zu erforschenden verwertbaren Bodenschätze mit hinlänglicher Genauigkeit

---

[1]) Ing. H. Gornick, Geschäftsführer der „Exploration“ G. m. b. H. in Charlottenburg: Die Drehwage und ihre Anwendung zu praktisch geologischen Untersuchungsarbeiten. Verein deutscher Eisenhüttenleute, Sitzung vom 15. Dezember 1921 in Düsseldorf. Bericht Nr. 2.

bestimmt werden kann. Dagegen muß ich hervorheben, daß die Messungen mit den nötigen Fachkenntnissen, mit großer Genauigkeit, mit sorgfältiger Umsicht und mit der von den gegebenen Umständen abhängigen Ausführlichkeit zu erfolgen haben, denn sonst können die Ergebnisse mit solchen Fehlern behaftet sein, daß die festgesetzten Bohrungsstellen von den eigentlich richtigen Punkten unter Umständen einige Kilometer abweichen können, was eben aus praktischem Gesichtspunkte nicht zu unterschätzen ist.

Wegen des kleinen Wertes der die Anziehungskraft bestimmenden Gravitationskonstante ist auch die Wirkung der unterirdischen Schichten verschiedener Form und Dichtigkeit gering. Eben darum sind die ungenauen Messungen auch bei den praktischen Forschungen unbrauchbar, und diese müssen immer mit der größten erreichbaren Genauigkeit erfolgen. Durch Berechnung einiger schematischer Fälle können wir uns überzeugen, daß die Messungen mit der Genauigkeit von 1×10^{-9} cmgs ausgeführt werden müssen, was ungefähr dem Gewichte von 1×10^{-12} g, d. i. einbilliontel Gramm entspricht. Diese verschwindend kleine Kraft kann man an folgendem Beispiel deutlich machen. Stellen wir uns vor, daß man aus einem Grammgewicht einen recht langen Draht zieht, welcher 25mal um die Erde reicht; das Gewicht eines 1 Millimeter langen Stückes von diesem unsichtbaren Drahte stellt jene geringe Kraft dar, die nötige Empfindlichkeit unserer Apparate. Es gelang Eötvös, sein Instrument so zu konstruieren, daß es auch bei sehr hoher Empfindlichkeit im Freien zuverlässige Werte gibt, was so überraschend war, daß anfangs Fachleute ersten Ranges daran zweifelten. Bei den Drehwageaufnahmen hat man eine der präzisesten Messungen der Physik auszuführen. Eben deshalb ist es unerläßlich, daß die Messungen immer in Gegenwart des entsprechenden Fachmannes, eines Physikers erfolgen. Es ist wahr, daß die Handhabung unserer visuellen Instrumente, die Ausführung der Ablesungen unendlich einfach ist, und jedenfalls einfacher, als die Instandhaltung des Bambergschen Instrumentes. Diese schematischen Verfahren kann jedermann verrichten, und die Anwesenheit des Fachmannes ist nicht deshalb notwendig.

Der erfahrene scharfsichtige Physiker muß dabei sein erstens, um zu entdecken, wenn im Funktionieren der Drehwage Störungen auftreten, um deren Grund zu bestimmen und sie zu beheben. Bei den Messungen eines weniger geübten Beobachters kann es leicht vorkommen, daß selbst im Funktionieren der Drehwage Störungen eintreten, die er nicht einmal festzustellen vermag, und so wird vielleicht eine ganze Beobachtungsreihe unbrauchbar und führt zu ganz fehlerhaften Resultaten.

Der Fachmann muß ferner dabei sein, damit die Messungen mit der gewünschten sorgfältigen Genauigkeit und Umsicht geschehen, damit das Instrument in gravitationeller Hinsicht immer an einem günstigen Orte aufgestellt werde, und die sowohl aus den Unebenheiten der unmittelbaren Umgebung als auch aus den in der Nähe befindlichen Massenanhäufungen oder Massendefekten herrührenden Wirkungen entsprechend berücksichtigt werden. Zu diesem Zwecke muß die unmittelbare Umgebung des Apparates unbedingt vorbereitet werden; denn wenn dies versäumt wird, ist die Korrektion der auftretenden Fehler durch entsprechende Formeln ganz zwecklos. Das Nivellieren muß sorgfältig so ausgeführt werden, daß die ausgemessenen Höhenpunkte sich dem Terrain anschmiegen und charakteristisch sind. Diese Arbeiten sind um so wichtiger und erfordern um so mehr Erfahrung, je ungünstiger das fragliche Gebiet ist. Wenn wir in dieser Hinsicht oberflächlich verfahren, können sehr bedeutende Fehler in unsere Ergebnisse geraten. Aus den mir zwecks Revision zur Verfügung gestellten

Daten hatte ich Gelegenheit mich zu überzeugen, daß die im Auslande ausgeführten und auf einen größeren Raum sich erstreckenden Vermessungsresultate eben aus diesem Grunde unzuverlässig und unbrauchbar sind. Aus der oben erwähnten Abhandlung des Herrn Gornick sehe ich gleichfalls, daß einerseits seine Messungen wegen der Unvollkommenheit seiner Apparate, wie auch er selbst betont, unzuverlässig und annähernd sind; anderseits ist die Wirkung der sichtbaren Massen nicht gehörig berücksichtigt worden. Durch die ausführliche Bearbeitung seiner Messungsergebnisse, worauf ich später zurückkomme, könnte man sich überzeugen, daß die Folgerungen auf die unterirdische Massenverteilung deshalb nur annähernd sein können.

Der Physiker muß dabei sein, damit er die Berechnungen schon während der Messungen größtenteils erledigt, und so die späteren Stationen auf Grund der Ergebnisse der vorangehenden festsetzt. Zu diesem Zwecke ist es nach unseren Erfahrungen notwendig, nicht nur die Gradienten und die Krümmungsdaten schon im Freien zu berechnen, sondern auch die Kurven gleicher Schwere, die Isogammen wenigstens annähernd zu konstruieren. Nur so ist es möglich, daß uns durch entsprechende Festsetzung der Stationen auf den aus dem Gesichtspunkte der geplanten Bohrungen kritischen Stellen ein so dichtes Beobachtungsnetz zur Verfügung steht, welches dann zur Ausführung weiterer Rechnungen und zur Erlangung sicherer Ergebnisse geeignet ist.

Ich vernahm mit großer Überraschung, daß die Aufnahmen mit den Bambergschen Apparaten meistens so geschehen, daß die Beobachter nur in die Handhabung des Apparates, in den Austausch der Platten eingeübt sind, und daß die Registrierplatten aus fernen Gebieten, sogar aus anderen Weltteilen zwecks Ausarbeitung in ein Berliner Zentrum eingesandt werden, so daß der Beobachter von den Ergebnissen seiner Messungen und von deren Brauchbarkeit entweder gar keine oder nur nachträgliche Kenntnis erhält. Auf diese Weise ist es unmöglich, gründliche und zielbewußte Messungen auszuführen und aus ihnen zuverlässige und brauchbare Ergebnisse zu erlangen.

Die im Felde ausgeführten Rechnungen bedeuten aber natürlich bei weitem nicht die endgültige Bearbeitung der Ergebnisse. Dies kann nämlich nachträglich nur dann erfolgen, wenn sämtliche Daten eines zusammenhängenden vermessenen Gebietes zur Verfügung stehen, weil man nur dann die notwendigen Ausgleichungsrechnungen ausführen kann. Nur dann sind die auf die Gradienten, Krümmungsdaten und Schwerkraft bezüglichen zusammenfassenden Rechnungen zu erledigen, und die diese drei Daten auf entsprechende Weise darstellenden Karten und Profilkurven zu verfertigen, die eben hinsichtlich der Folgerungen auf die unterirdischen Gebilde von Wichtigkeit sind. Der beste Prüfstein der Güte und Brauchbarkeit unserer Drehwagenmessungen ist, daß einerseits die Werte dieser drei Daten für sich selbst immer systematisch sind, anderseits zwischen diesen Daten auf dem ganzen Gebiete Einklang besteht. Diese Verfahren erheischen wirklich große Fachkenntnis und stellen den Physiker manchmal vor ganz neue Aufgaben.

Auf Grund der Vorangehenden kann ich die oft betonte Meinung nicht teilen, daß mit den Bambergschen Apparaten auch ein weniger geschulter Beobachter gute Messungen ausführen kann. Es ist ersichtlich, daß obwohl die Kenntnis der Handhabung des Apparates natürlich unbedingt notwendig ist, dies nur ein kleiner und am leichtesten anzueignender Teil der zu guten Messungen erforderlichen Kenntnisse ist. Es ist ferner infolge der Natur der Messungen und Berechnungen wünschenswert, daß damit möglichst nicht Geologen, sondern tüchtige Physiker betraut werden. Ich

halte es keinesfalls für vorteilhaft, daß die praktischen Messungen neuerlich meist von Geologen ausgeführt werden; es ist richtiger, wenn der Geologe nur in den mit den Messungen verknüpften geologischen Fragen als Sachverständiger dem Physiker zu Hilfe kommt.

Ich habe schon oben betont, daß auch die praktischen Drehwageaufnahmen eigentlich eine der genauesten physikalischen Messungen erfordern. Es ist bekannt, daß die einmalige Ablesung der zu messenden Daten bei physikalischen Messungen niemals genügend ist, sondern diese einigemal wiederholt werden müssen. Die doppelarmige Drehwage muß bekanntlich in drei nach verschiedenen Himmelsrichtungen gerichteten Stellungen beobachtet werden, um daraus die zu bestimmenden Gravitationsdaten zu ermitteln. Nach meinen Erfahrungen ist es wünschenswert und zweckmäßig, daß man in jeder Stellung drei, zusammen also neun Ablesungen vornimmt; in diesem Falle kann man die gewünschte Genauigkeit tatsächlich erreichen, natürlich aber nur mit einem einwandfreien guten Instrumente. Die Ablesungen erfolgen stündlich, da der Wagebalken zur völlig sicheren Dämpfung einer Stunde bedarf. Dieser Zeitraum kann durch die Steigerung der Dämpfung nicht mehr verkürzt werden, weil sonst die Sicherheit der Ablesungen gefährdet wird. Vor Beginn der Beobachtungsreihen muß noch der Apparat sorgfältig eingestellt werden, und so braucht man zu den 9 Ablesungen zusammen ungefähr 10 Stunden. Zum einwandfreien Arbeiten des Apparates ist es vorteilhaft, daß die Beobachtungen nicht sofort nach der Aufstellung des Instrumentes begonnen werden, sondern daß das Instrument vorher einige Stunden lang sich selbst überlassen sei. Außerdem muß vorher die unmittelbare Umgebung des Instrumentes vorbereitet, das Terrain bis 100 Meter Entfernung ausnivelliert, das Instrumentenzelt, das Instrument selbst und das Wohnungszelt usw. aufgestellt werden. Diese Arbeiten sind größtenteils doppelt zu verrichten, da wir selbst unsere Messungen immer mit zwei nebeneinander aufgestellten Instrumenten ausführen, was sich zur Erhöhung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit unserer Ergebnisse für notwendig und sozusagen unerläßlich erwies. Auf diese Weise werden die von den in der Nähe der Oberfläche auftretenden eventuellen Dichtigkeitsungleichheiten herrührenden, ziemlich häufigen störenden Wirkungen eliminiert. Die Verrichtung aller dieser Arbeiten erfordert mehrere Stunden Zeit. Dazu kommt noch die Überführung der Instrumente und der ganzen Ausrüstung von einer Station zur anderen. Die dazu nötige Zeit ist natürlich von der Entfernung der Stationen voneinander und von der Beschaffenheit der Wege abhängig und verschieden; bei einem weitmaschigen Netze erfordert es im allgemeinen einige Stunden. So kann an einem Tage tatsächlich nur eine doppelte Station vollendet werden; dabei haben wir aber Zeit dazu, daß wir bei Tage die die Gravitationsmessungen vorteilhaft ergänzenden erdmagnetischen Messungen ausführen, und zwar an jeder Station die Horizontal-Intensität, die Deklination und die Inklination bestimmen. Unter diesen Umständen ergibt sich als beste Zeiteinteilung, daß man bei Tage die Übersiedelung, die vorbereitenden und ergänzenden Arbeiten erledigt, und die Drehwagen bei Nacht beobachtet, um so mehr, weil dann auch unsere Beobachtungen besser und genauer sind. Wie vollkommen nämlich unsere Drehwage auch sein mag, die nächtlichen Beobachtungen sind immer besser als die bei Tage erfolgten.

Dagegen genügt mit den Bambergschen Instrumenten angeblich „4—5 Stunden Registrierzeit, um brauchbare Resultate zu erhalten; daher erledigt ein einziger Beobachter mit einem einzigen Instrument innerhalb 24 Stunden zwei Stationen und könnte im Sommer auch drei Stationen in derselben Zeit erledigen“. Auch in der Praxis

sind, wie ich es ausführlich begründete, nur die genauen Messungen brauchbar; diese sind binnen 4—5 Stunden nicht zu erreichen, wenn wir mit noch so vollkommenen Instrumenten arbeiten! In Anbetracht der vorher aufgezählten und recht sorgfältig zu verrichtenden Arbeiten können zwei voneinander etwas entfernter gelegene Stationen an einem Tage wirklich nicht gut erledigt werden; das ist nur auf Kosten der Genauigkeit der Messungen möglich, womit man die Zuverlässigkeit und Brauchbarkeit der Ergebnisse gefährdet. Von drei Stationen an einem Tage mit einem Instrumente kann gar nicht die Rede sein! Mit der gewünschten und notwendigen hohen Empfindlichkeit der Drehwage ist grundsätzlich eine gewisse Langsamkeit unabänderlich verknüpft, ferner müssen die Drehwage-Beobachtungen und die ergänzenden Messungen mit großer Genauigkeit erfolgen, eben deshalb kann man die Dauer der Messungen wesentlich nicht verkürzen, wie wünschenswert dies auch sein mag.

Zuletzt will ich auf die wichtigste Frage übergehen, ob denn die Bambergschen Instrumente wirklich so gut sind, und ob sie wirklich die über sie verbreiteten Vorteile besitzen. Die Güte des Apparates betreffend ist es nicht maßgebend, ob es zur visuellen Ablesung oder zur Registrierung eingerichtet ist, sondern es handelt sich darum, ob die Drehwage tadellos funktioniert. Zu diesem Zwecke ist es einerseits notwendig, daß man über gute Torsionsdrähte verfügt, ferner daß man die verschiedenen äußeren störenden Wirkungen behebt. Gestützt auf Erfahrungen haben wir zu diesem Zwecke allmählich neuere systematisch ausgeprobte Verfahren eingeführt, die wir nirgends veröffentlicht haben. Herr Schweydar kennt nur unsere Verfahren von 10—15 Jahren vorher, beurteilt unsere Instrumente nach diesen, wogegen dieselben wesentlich vervollkommnet wurden. Bei den Bambergschen Instrumenten besteht die angebliche Vervollkommnung eigentlich nur in der Einführung der geschickt angebrachten Registriervorrichtung; für den wichtigsten Teil, für den Wagebalken, von dem die Brauchbarkeit des ganzen Instrumentes abhängt, ist weniger Sorge getragen. Auf die Zuverlässigkeit der Drehwage sind indes kleine konstruktionelle Abweichungen von sehr großem Einfluß. Es kam bei unseren älteren Messungen vor, daß Instrumente, die im Laboratorium vortrefflich arbeiteten, sich im Freien beinahe als ganz unbrauchbar erwiesen. Durch jahrelange Versuche gelang es uns, diese sonderbare Erscheinung zu erklären und nun haben wir entsprechende Laboratoriumsverfahren, mit denen wir das tadellose Arbeiten unserer Apparate im Freien schon im Laboratorium bestimmen und sichern können. Früher hing es ganz vom glücklichen Zufall ab, ob die mit der größten Sorgfalt und Umsicht verfertigten Apparate sich im Freien bewähren. Es scheint, gemäß den Beobachtungen des Herrn Gornick, daß die Bambergschen Instrumente sich noch in diesem alten Stadium befinden. Es ist wohl möglich, daß manche Bambergschen Apparate besser sind als jener, den Herr Gornick in seinen Messungen gebrauchte, und über den er sich in seiner obenerwähnten Abhandlung so ungünstig äußerte. Infolge der großen Abweichungen in den Beobachtungen hielt er es für notwendig, daß man „21 Stunden beobachtet und somit etwa sieben Serien von Beobachtungen erzielt, aus denen alsdann das Mittel genommen wird, um zu einem angenähert richtigen Ergebnis zu kommen". Mit einem Worte hebt er selbst hervor, daß bei dem Bambergschen Apparate ein bis zwei Beobachtungsreihen, das ist die wiederholt betonte 4—5 Stunden lange Beobachtungszeit, bei weitem nicht genügt, und daß er mit diesem Instrument auch binnen 21 Stunden nur angenähert richtige Werte erreichen kann.

Wir beobachten mit unseren Instrumenten 9 Stunden, erreichen aber während dieser Zeit ganz richtige und zuverlässige Werte. Im allgemeinen sind unsere Beobachtungsreihen dem nachstehend als Beispiel angeführten ähnlich:

5917. Station. Beobachtet am 22.—23. September 1921.

Zeit der Beobachtung	Stellung	Ablesungen		Temperaturen				$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
		1. Rohr	2. Rohr	Außen	Im Zelt	Im Apparat 1	Im Apparat 2				
9^h p.m.	I.	150,3	444,7	13,3	14,2	14,7	14,6				
10^h p.m.	II.	153,3	446,0	12,2	14,0	14,3	14,2	+53,5	−27,9	+28,4	+3,4
11^h p.m.	III.	132,4	460,3	11,8	13,7	14,2	14,0	+53,5	−27,8	+28,4	+3,4
12^h p.m.	I.	150,1	444,7	10,5	13,2	13,8	13,6	+53,3	−27,8	+27,9	+3,4
1^h a.m.	II.	153,1	446,0	11,2	13,0	13,4	13,4	+53,4	−28,0	+27,9	+3,4
2^h a.m.	III.	132,4	460,3	11,0	12,9	13,2	13,2	+53,3	−28,2	+27,6	+3,1
3^h a.m.	I.	150,2	444,6	10,5	12,5	13,1	13,0	+53,4	−28,2	+27,8	+3,1
4^h a.m.	II.	153,0	445,9	10,0	12,4	13,0	12,8				
5^h a.m.	III.	132,3	460,2	9,7	11,9	12,4	12,3				

Es ist ersichtlich, daß in den zu bestimmenden vier Differentialquotienten die **maximale Abweichung** zwischen den einzelnen Werten nur einige Zehntel beträgt und unter 1×10^{-9} cmgs bleibt.

Dagegen bieten die Werte des **Bambergschen** Instrumentes ein ganz anderes Bild. Herr **Gornick** teilt in seiner Abhandlung zwei Registrieraufnahmen mit. Die erste von diesen haben wir ausgemessen und auf Grund der durchschnittlichen Empfindlichkeit, die aus den mitgeteilten Daten des Apparates folgt, die Resultate auf die übliche Weise berechnet. Da die genauen Daten des Apparates uns nicht zur Verfügung standen, konnten wir diese Berechnung nur annähernd ausführen; die gewonnenen Ergebnisse sind aber den wahren Werten entsprechender Ordnung. Im Falle, daß die mitgeteilten Registrieraufnahmen vergrößert wären, sind die nachfolgenden Daten entsprechend zu vermindern, was aber unsere Folgerungen nicht beeinflußt. Der Kürze halber lasse ich diese lange Tabelle weg und führe nur die **maximalen Abweichungen** in den vier bestimmten Daten an:

Daten:	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
Abweichungen:	14,6	11,4	59,6	17,3

Um Mißverständnissen vorzubeugen, will ich die experimentelle Tatsache hervorheben, daß diese Abweichungen ihrem Wesen und Ursprung gemäß nur nach dem absoluten Werte und nicht nach Prozenten zu beurteilen sind. Wenn man nun aus den bei Tage gewonnenen und den nächtlichen, besser übereinstimmenden Werten abgesondert das Mittel nimmt, so sind die Differenzen zwischen den beiden Werten nur etwas geringer als die mitgeteilten maximalen Abweichungen. **Mit einem Worte führen die bei Tage erfolgten Beobachtungen zu einem ganz anderen Ergebnis, als die nächtlichen.**

Die Kritik des Herrn **Gornick** ist also ganz sachlich und berechtigt. Es sei mir aber erlaubt, auf Grund meiner Erfahrungen sie noch mit folgendem zu ergänzen. Es ist nicht richtig, aus der vollständigen, auch die Tageswerte einschließenden Beobachtungsreihe das Mittel zu nehmen, denn so gelangen wir zu falschen Resultaten. Die Tageswerte sind ganz falsch, da in ihnen die störenden Wirkungen über-

wiegen; die dürfen nicht berücksichtigt werden, und das Mittel darf nur aus den nächtlichen Werten genommen werden. Diese Werte sind, wenn auch nicht immer tadellos, so doch tatsächlich brauchbar und geben in der Tat die gesuchten gravitationellen Daten. So muß ich, im Anschluß an die Meinung des Herrn Gornick, seine Kritik dahin abändern, daß man Messungen mit dem von ihm gebrauchten Bambergschen Apparate im allgemeinen bei Tage nicht ausführen kann und darf.

Bei kurzen, 4—5 Stunden dauernden Beobachtungsreihen kann man die falschen Werte des Apparates natürlich nicht wahrnehmen. Diesen Umstand außer acht lassend, verwendet man die ganz falschen Tageswerte im Messungsnetze ebenso wie die guten Werte. Es ist klar, daß die so abgeleiteten Endresultate falsch und unzuverlässig werden und können auch die praktischen Erfordernisse nicht befriedigen.

Die ungarischen Apparate werden im „Ferdinand Süss Praecisions-Mechanische und Optische Anstalt A.-G. Budapest“ unter unserer Aufsicht fertiggestellt. Die Verfertigung der inneren physikalischen Einrichtung, die Zusammenstellung und eingehende Untersuchung des Torsionsgehänges, die Zurichtung und die Auswahl der Torsionsdrähte, die Justierung des Instrumentes aus verschiedenen Gesichtspunkten, die Bestimmung seiner Konstanten und Formeln werden im „Baron Roland Eötvös Geophysikalischen Institute“ ausgeführt, wobei wir unsere viertelhundertjährigen Erfahrungen verwerten. Ich kann behaupten, daß die auf diese Weise entstandenen Apparate ganz genaue und sichere Ergebnisse liefern. Die visuelle Beobachtungsart ist zwar alt, aber gut und bei weitem nicht überlebt, sie bietet sogar, wie ich ausführlich bewies, im Gegensatz zu der automatischen Registrierung hinsichtlich der Zuverlässigkeit sowie raschen und zweckmäßigen Ausführung der Messungen viele Vorteile.

Unsere Apparate werden auf Grund der neugewonnenen Erfahrungen von Jahr zu Jahr vervollkommnet. Ich selbst nahm schon vor drei Jahrzehnten an jenen grundlegenden Versuchen von Baron Roland Eötvös teil, aus denen die ganze Methode und die Drehwage selbst sich entwickelte, befasse mich seitdem beständig mit dieser Frage, und so ist es natürlich, daß ich alle Besonderheiten der inneren Teile des Apparates kenne, weshalb ich auch die bei den neueren Messungen gewonnenen Erfahrungen zur weiteren Vervollkommnung des Instrumentes verwenden kann. Mit den Bambergschen Apparaten arbeiten meistens solche Beobachter, die mit diesen feineren Einzelheiten nicht vertraut sind, und so ihre neueren Messungserfahrungen auch nicht gehörig verwerten können.

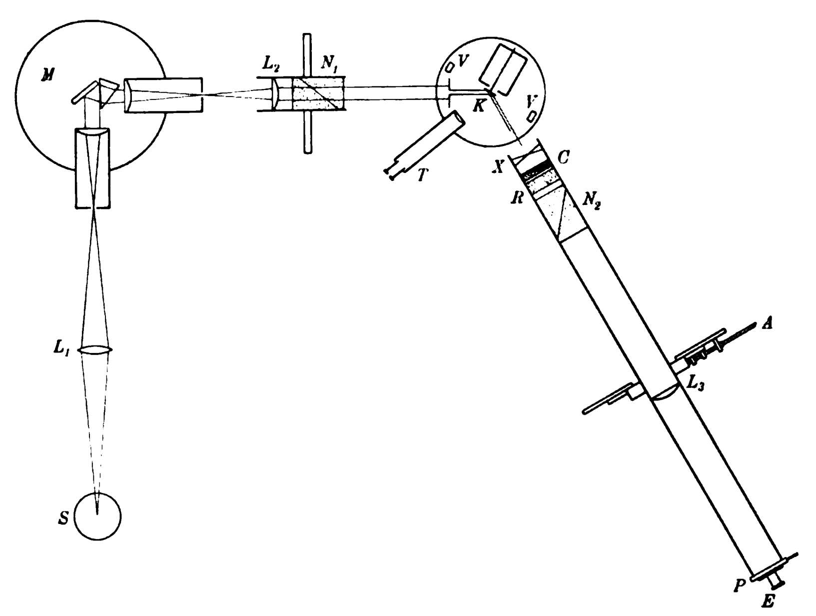
Ich will zwischen den beiden Instrumententypen keine Parallele ziehen. Das Bambergsche Instrument erfreut sich derzeit einer großen Verbreitung, die aber nicht unbedingt die Folge seiner tatsächlichen Güte und Brauchbarkeit ist. Es ist meine feste Überzeugung, daß man auf Grund der denen des Herrn Gornick ähnlichen Erfahrungen immer mehr zu den ursprünglichen Eötvösschen visuellen Instrumenten zurückkehren wird.

Referate.

Das Crystelliptometer.

Von Le Roy D. Weld, *Journ. of the Opt. Soc. of Amer.* **6** *S. 67. 1922.*

Der Verf. beschreibt ein Instrument zur polariskopischen Analyse sehr schmaler Lichtbündel. Das Bedürfnis hierfür leitet er von dem Umstande ab, daß die bisherigen Methoden zur Untersuchung der elliptischen Polarisation eine ziemliche Ausdehnung des Feldes erfordern und sich deshalb z. B. nicht eignen für dünne, etwa durch ein Nadelloch gegangene Strahlen. Um solche handelt es sich aber, wenn man einzelne Punkte einer metallisch reflektierenden Oberfläche untersuchen will oder nur Splitter von Kristallen zur Verfügung hat, deren elliptische Polarisation festgestellt werden soll.



Der vom Verf. zusammengestellte Apparat ist in der Figur schematisch wiedergegeben. Das Bild der Lichtquelle S wird durch die Quarzlinse L_1 auf den Eintrittsspalt des Monochromators M abgebildet. Das aus dem Austrittsspalt des Monochromators divergierend austretende Strahlenbündel wird durch die Quarzlinse L_2 parallel gemacht und durch den großen Nikol N_1 mit quadratischen Endflächen planpolarisiert. Der zu untersuchende Kristall K ist auf einem Spektrometer aufgestellt, durch dessen Fernrohr T und den Nonius V die Neigung der reflektierenden Fläche K zu dem einfallenden Strahlenbüschel festgestellt werden kann. Der Träger der reflektierenden Kristallplatte kann um eine horizontale Achse gedreht werden, so daß man leicht die beiden Lagen der Platte K herbeiführen kann, in denen die Polarisation senkrecht zueinander ist.

Das dünne reflektierende Strahlenbündel, welches elliptisch polarisiert ist, tritt nun ein in das analysierende System X, C, R, N_2 des Crystelliptometers. X ist ein Fadenkreuz, bestehend aus feinen Glasfäden. Darauf folgt der Kompensator C, der nach Art eines Babinetschen Kompensators zusammengesetzt ist aus zwei Quarzkeilen, die fest miteinander verbunden sind. Der Keilwinkel des Kompensators beträgt 52 Minuten. Der dann folgende, vom Verf. Rotator genannte Teil R, der die Polarisationsebene dreht, besteht aus zwei Quarzkeilen, einem links- und einem rechtsdrehenden, mit Keilwinkeln von 24 Grad, was für Natriumlicht eine Drehung von etwa 16 Grad ergibt. Die Fläche dieses Rotators hat die Größe 15×30 mm. Das analysierende Nikolsche Prisma N_2 hat die gleiche Größe und Konstruktion wie N_1. Die beiden rechtwinkligen Kalkspatprismen von $15 \times 30 \times 30$ mm haben einen Keilwinkel von 65 Grad und sind mit Glyzerin gekittet. Der austretende außerordentliche Strahl schwingt parallel zur 15-mm-Dimension.

Die Polarisationsstreifen, welche von der reflektierenden Fläche K erzeugt werden, werden gleichzeitig mit dem Fadenkreuz X durch die Quarzlinse L_3 auf der photographischen Platte P von der Größe $1 \times 1^1/_2$ Zoll abgebildet. Hinter der Platte befindet sich ein Okular E, durch welches vor Einsetzen der Platte die Einstellung besorgt wird.

Das ganze Crystelliptometer hat eine Länge von 85 cm. Durch zwei senkrecht zueinander wirkende Mikrometerschrauben kann es zu den Polarisationsstreifen orientiert werden. Eine dieser Schrauben wird durch einen elektrischen Antrieb gedreht und bewegt dadurch das Instrument in der Richtung der anderen Schraube mit einer Schnelligkeit, welche der erforderlichen Expositionszeit entspricht. (So beschreibt der Verfasser!) Außerdem kann das ganze Instrument mit den Mikrometerschrauben bei A um seine Längsachse gedreht werden, wodurch die Neigung der elliptischen Polarisation zur Koordinatenmasse des analysierenden Systems geändert werden kann.

Bei den Aufnahmen beginnt man mit einer senkrechten Stellung der Auslöschungsebene des Analysators N_2, welche mit der Y-Achse zusammenfällt, und macht dann weitere Aufnahmen, indem man das ganze Instrument jeweils um einen gewissen Winkel dreht.

Als Lichtquelle benutzte der Verf. zuerst eine Nernstlampe, später eine Wolframfadenlampe mit niedriger Spannung, im Ultraviolett wurde ein Eisenlichtbogen angewandt.

Zwecks genauer Justierung des Apparates wurde ein Kathetometer in nicht näher beschriebener Art benutzt. Dadurch wurde bewirkt die horizontale Lage des Monochromators, des Kollimators des polarisierten auffallenden wie des reflektierten Strahles und des Crystelliptometerrohres. Der Kristall ist an dem vorderen Ende eines dünnen Stabes in der Öffnung einer hohlen Trommel angebracht, welche einen vollkommen dunklen Hintergrund darstellt. Diese Vorrichtung kann um eine vertikale Achse von 0 bis 180 Grad gedreht werden auf einem Teilkreise.

Eine besondere Schwierigkeit bereitete nach Angabe des Verfassers die Bestimmung der Wellenlänge des aus dem Monochromator austretenden Lichtes, welche überdies von Tag zu Tag wechselte. Auch die Unreinheit des Lichtes des Monochromators, namentlich in Bezirken der kürzeren Wellenlänge.

Von großer Bedeutung ist auch die richtige Einstellung der Kollimator- und namentlich der Quarzlinse, da sie nicht achromatisch sind und auf Wellenlängen geeicht werden müssen. In bezug auf die Kollimatorlinse genügte es, ihre Brennweite für eine bestimmte Wellenlänge auf einer optischen Bank zu messen und dann das Auszugrohr unter Zuhilfenahme der bekannten Dispersion des Quarzes mit einer Teilung] für andere Wellenlängen zu versehen. Wichtiger ist die richtige Einstellung der Kameralinse, da eine falsche Einstellung selbstverständlich Verschiebungen der Streifenbilder hervorruft, wodurch Irrtümer in der Bestimmung der elliptischen Elemente entstehen. Hierbei benuzt der Verf. eine Methode, durch welche die Einstellung auf 0,1 bis 0,2 mm genau erfolgt. Leider gibt er von dieser Methode keine Beschreibung, sondern verweist auf eine frühere Veröffentlichung (*School science and Mathematics* ***18.*** *S. 54. 1918*), welche dem Referenten nicht zur Hand ist.

Das Fadenkreuz X kann durch eine Mikrometerschraube in der Achse des Rohres bewegt werden, dadurch kann es in die Ebene des Bildes der Polarisationsstreifen gebracht und eine Parallaxe zwischen beiden vermieden werden. Das muß für jede Wellenlänge besonders geschehen. Der Verf. teilt mit, daß das in üblicher Weise durch Stellschrauben justierbare Fadenkreuz unvermeidlich aus seiner richtigen Stellung in seitlicher Richtung sich bewegt. Um diesen, einige Tausendstel eines Millimeters betragenden Fehler in Rechnung ziehen zu können, werden ab und zu zwischen den Versuchen Vergleichsplatten aufgenommen unter Benutzung des vollen Büschels des aus dem polarisierenden Nikol kommenden, streng planparallel polarisierten Lichtes; die dann vorhandene Abweichung wird ausgemessen. Das muß für jede benutzte Wellenlänge besonders gemacht werden, da die notwendige Zentrierung sich vermutlich durch leichte Ungleichmäßigkeiten in den Winkeln der Quarzkeile systematisch mit der Wellenlänge ändert.

Der Verf. gibt noch Abbildungen der photographischen Aufnahmen und Formeln zur Berechnung der Größe der elliptischen Polarisation aus den Messungen der Streifenabstände.

So interessant die Anordnung des Apparates ist, so muß doch beachtet werden, daß augenscheinlich große Schwierigkeiten vorhanden sind, den Apparat in allen Teilen zu berichtigen und

diese Berichtigung auf längere Zeit aufrecht zu erhalten. Das mag vermutlich in der Hauptsache seinen Grund darin haben, daß nach der Wiedergabe einer photographischen Abbildung des Apparates das ganze Instrumentarium nicht starr miteinander verbunden ist. Es sind der Monochromator, der Polarisator, die zu untersuchende Platte auf einem Spektrometertisch und der eigentliche Crystelliptometer jeder für sich aufgestellt, indem hierzu einzelne im Bestande des Laboratoriums gerade vorhandene, passende Apparate benutzt wurden. Bedenkt man ferner, daß an das Crystelliptometer auch noch ein Elektromotor angespannt ist, so kann man sich kaum wundern, daß die Justierung des gesamten Instrumentariums nicht auf längere Dauer aufrechterhalten bleibt, und große Geschicklichkeit und Geduld seitens des Experimentierenden erforderlich ist, um gute Ergebnisse der Versuche zu erzielen. Der Verf. scheint diese Eigenschaften in hohem Maße zu besitzen. *H. Krüss.*

Neue Methoden zur Untersuchung der Objektive nebst Bemerkungen über die Beurteilung ihrer Güte.

Von Y. Väisälä. *Inaug. Diss. Helsingfors, 1922.*

Die qualitative Prüfung der Objektive (Doppelsterne, extrafokale Einstellung, Foucaultsche Messerschneidemethode) genügt nicht, um Objektive verschiedener Observatorien zu vergleichen; hierzu ist es erforderlich, die Fehler quantitativ zu bestimmen, wie es Hartmann gemacht hat. Als Maß für die Güte eines Objektives hat Lehmann eine auf die geometrische Optik begründete technische Konstante vorgeschlagen, während Strehl von der Beugungstheorie ausgeht. Der Verfasser hat neue Prüfungsmethoden ausgearbeitet und schlägt eine etwas andere Definition der technischen Konstante vor. Der Grundgedanke besteht darin, daß eine Blende mit zwei oder mehreren Löchern vor das Objektiv gebracht wird und die durch diese hindurchtretenden Lichtbündel zur Interferenz gebracht werden. Durch Messen des Ortes der Interferenzfiguren kann die Lage der durch die Löcher gelegten Sehne oder Ebene bestimmt werden.

Bei der Methode der zwei Löcher werden zwei Strahlenbündel zur Interferenz gebracht. Aus den Interferenzerscheinungen wird die Sehne der wirklichen Wellenfläche und ihre Neigung zu derjenigen der idealen Wellenfläche bestimmt. Wenn die Blende mit den beiden Löchern über die ganze Objektivöffnung hinweggeführt wird, kann die Gestalt der ganzen Wellenfläche bestimmt werden.

Bei der Methode der drei Löcher wird statt der Sehne eine Ebene durch die Wellenfläche gelegt und deren Lage bestimmt; die Löcher bilden die Eckpunkte eines Dreiecks. Die Methode der drei Spalten benutzt drei in einer Linie liegende Öffnungen; es wird der Radius des Kreises bestimmt, der durch die den Löchern entsprechenden Punkte der Lichtwellenfläche gelegt werden kann. Wenn vier Löcher benutzt werden, so bilden drei ein gleichseitiges Dreieck und das vierte liegt in der Mitte. Hier wird also, ähnlich wie bei einem Sphärometer, der Kugelradius der so abgegrenzten Wellenfläche bestimmt.

Für die Methode der zwei Löcher wird die theoretische Berechnung des Falles der endlichen Löcher gebracht und auch die Integration ausgeführt für die Annahme, daß diese Löcher rechteckige Gestalt haben. Auch der Umstand wird in Betracht gezogen, daß die Lichtstärke nicht in allen Teilen der Wellenfläche dieselbe ist.

Diese Methoden sind angewandt auf die Untersuchung dreier Fernrohre des Helsingforser Observatoriums und eines vom Verfasser selbst hergestellten Spiegels mit 175 mm Öffnung. Die drei Fernrohre sind: ein transportables Passage-Instrument von Repsold (Öffnung 70 mm, Brennweite 750 mm), ein alter Utzschneider-Fraunhoferscher Refraktor (Öffnung 175 mm, Brennweite 2880 mm) und ein großes Passage-Instrument mit einem Objektiv von Utzschneider und Fraunhofer (Öffnung 160 mm, Brennweite 2400 mm). Benutzt sind die Methoden der zwei Spalten und der drei Löcher, die in erster Linie empfohlen werden. Als Lichtquelle wird ein künstlicher und auch ein natürlicher Stern benutzt; ersterer wird natürlich vorgezogen. Nach der Auswertung der Versuchsresultate wird auch ihre Genauigkeit kritisch erörtert.

Michelson hat auch schon Objektivuntersuchungen mit zwei Spalten vorgenommen, jedoch läßt er den einen Spalt in der Mitte stehen und verschiebt nur den anderen über die verschiedenen Zonen. Da jedoch die Genauigkeit der Einstellung mit dem wachsenden Abstand der Spalten ab-

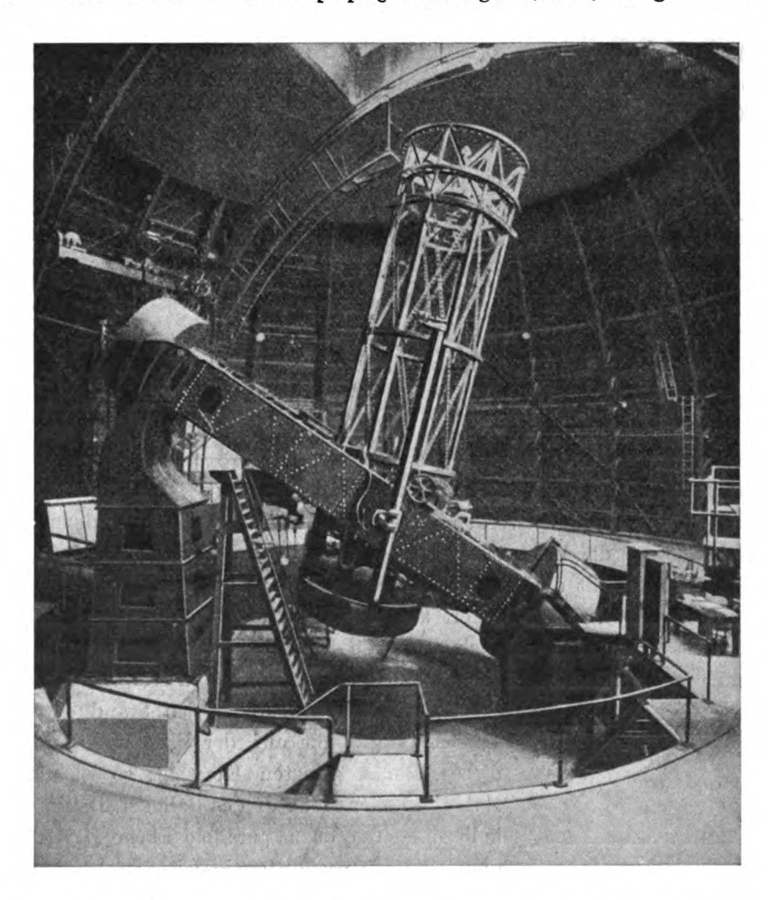
nimmt, so werden hier die Randzonen weniger gut bestimmt. Der Verfasser erwähnt noch zwei Modifikationen seiner Methoden. Bei der einen wird durch ein festes Spaltpaar und ein entsprechendes Prisma ein feststehendes Vergleichs-Interferenzbild geschaffen, so daß die gegenseitige Lage von Instrument und Lichtquelle nur für kurze Zeit unveränderlich zu sein braucht. Bei der anderen werden die beiden durch die festen und die beweglichen Spalten entstehenden Interferenzbilder in extrafokalen Stellungen miteinander verglichen.

Der letzte Abschnitt handelt von der Beurteilung der Güte der Objektive; die von Lehmann auf Grund der geometrischen Optik und die von Strehl auf Grund der Beugungstheorie vorgeschlagene sogenannte technische Konstante führen beide unter Umständen zu verschiedenen Werten, können sich aber auch bis zu einem gewissen Grad ergänzen. Zum Schluß wird eine Tabelle gebracht, in der für 18 verschiedene Objektive, deren Korrektionszustände z. T. der Literatur entnommen sind, diese technischen Konstanten zusammengestellt sind. *von Hofe.*

Das 2,5 m-Spiegelfernrohr auf Mt. Wilson.

Nach Reports of the Director of the Solar Observatory, Mt. Wilson, Cal.

Das neue Spiegelfernrohr gleicht in mancher Hinsicht seinem Vorgänger von 1,5 m Öffnung auf der gleichen Sternwarte *(diese Zeitschr.* ***31.*** *S. 89. 1911).* Insbesondere ist die optische Bauart die gleiche. Die Brennweite des Hauptspiegels beträgt 12,88 m, die genaue Öffnung 2,57 m;



die Mitteldicke beträgt 292 mm, das Gewicht 4088 kg; durch hyperboloidische Fangspiegel kann die Brennweite auf 40,8 bzw. 76,5 m erhöht werden. Die Polarachse ist auch hier durchbohrt, um das Licht einem großen festen Spektrographen zuführen zu können. Die Montierung ist aber hierbei von der englischen Art; die Entlastung der Polarachse durch den Auftrieb von Quecksilber findet sich wieder. Die beweglichen Teile des Fernrohres wiegen etwa 90 Tonnen, die Kuppel

etwa 360 Tonnen bei 31 m Höhe. Die Scheibe für den Hauptspiegel wurde schon 1908 von dem Werk in St. Gobain geliefert. Da sie in 3 Lagen gegossen war, wurde sie erst verworfen, da man Spannungen befürchtete. Die Versuche eine bessere Scheibe herzustellen, hatten jedoch keinen Erfolg. So wurde 1911 mit dem Schliff begonnen und die Scheibe sobald als möglich geprüft. Bei einer Temperaturänderung von 7—32° zeigte sich keine Formänderung der Spiegelfläche. Die Arbeit, um den Hauptspiegel zu parabolisieren, zog sich über 1 Jahr hin. Der fertige Spiegel zeigte noch Astigmatismus; um diesen zu beseitigen, wurde mit einem großen Polierer von 1500 Pfund Gewicht gearbeitet. Für die Prüfung nach dem Foucaultschen Schneidenverfahren wie nach dem Hartmannschen Verfahren diente ein Planspiegel von 1,5 m Durchmesser zur Autokollimation. Am Ende war nur eine Längsabweichung von 0,14 mm vorhanden. Infolge der Unterbrechung der Arbeit durch den Weltkrieg wurde das Fernrohr erst 1919 in Gebrauch genommen. Beim Vergleich mit dem 1,5 m-Spiegelfernrohr zeigte sich für Sternspektra die nach der Theorie erwartete Erhöhung der Lichtstärke, für photographische Sternaufnahmen der Gewinn einer Größenklasse. *A. K.*

Kleine Mitteilungen.

Ein Registrier-Theodolit für Pilotballone.

(Dr. C. Schoute. Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut. Mededeelingen en Verhandelingen No. 26. Utrecht, Kemink & Zoon. 1921.)

Die **Bestimmung der Luftströmungen** in den höheren Schichten der Atmosphäre nach Richtung und Geschwindigkeit ist von größter Bedeutung nicht nur für die Meteorologie, sondern auch für die Luftschiffahrt und wird immer mehr an praktischer Bedeutung gewinnen, je mehr das Luftverkehrswesen an Umfang zunehmen wird.

Schon Kremser hat 1893 den Vorschlag gemacht, die Windrichtung und Windgeschwindigkeit in den verschieden hohen Luftschichten durch Verfolgung von Pilotballonen festzustellen, indem er die Bahn des Ballons durch Visierrichtung und scheinbaren Durchmesser desselben mittels eines Theodoliten festlegte. Im Jahre 1903 hat Aßmann für den gleichen Zweck Gummiballone herstellen lassen, bei welchen sich sehr bald die wichtige Tatsache ergab, daß sie eine nahezu unveränderliche Vertikalgeschwindigkeit haben, so daß de Quervain im Jahre 1912 den ersten speziellen Ballon-Theodolit baute, zwecks Beobachtung des Pilotballons von nur einem Punkte aus.

Das Prinzip der Beobachtung ist das folgende:

Ist das Gewicht des Ballons und sein Auftrieb bekannt, so kann die Steiggeschwindigkeit an Hand von Tabellen[1]) ermittelt werden. Aus der Flugzeit ergibt sich danach die Höhe des Ballons. Wird dann noch die Visierrichtung nach Azimut- und Höhenwinkel mittels eines Theodoliten festgelegt, so ist damit die jeweilige Lage des Ballons bestimmt.

So gut es möglich ist, den Ballonort aus der Höhe und dem Höhenwinkel zu berechnen, ebensogut muß es natürlich auch möglich sein, diesen Ort als den Schnittpunkt der jeweiligen Visierrichtung mit der zur Erdoberfläche parallelen Höhenschicht instrumentell festzulegen.

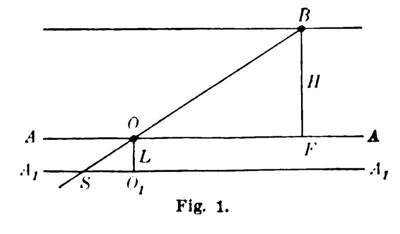


Fig. 1.

In Fig. 1 bedeute B den Stand des Ballons, O den Beobachtungspunkt auf der Erdoberfläche, AA den durch diesen Punkt gelegten Horizont, so ist das Lot BF auf AA gleich der Höhe H des Ballons. Denkt man sich unterhalb AA eine dazu parallele Ebene A_1A_1, deren Abstand davon jeweils proportional H ist, so beschreibt der Schnittpunkt S von BO mit A_1A_1 eine der Bahn des Ballons B ähnliche Kurve und die Reihe der Durchstoßungspunkte S bildet in der als Diagrammblatt gedachten Ebene A_1A_1 eine naturgetreue Abbildung der Horizontalprojektion des Ballonweges.

[1]) Vgl. Hergesell, s. S. 7 des Originals.

Die instrumentelle Anordnung die diesem Beobachtungsprinzip entspricht, ist nun die folgende[1]):

Die Visierrichtung OB wird festgelegt mittels eines rechtwinkelig gebrochenen Theodolitfernrohres. Unterhalb des Fernrohres befindet sich auf einem horizontalen Tisch, der an der Drehung des Fernrohres nicht teilnimmt, das Diagrammblatt der Ebene $A_1 A_1$ mit dem Mittelpunkt O bzw. O_1. An dem Fernrohr ist parallel zur Visierrichtung OB ein Punktierstab befestigt, dessen Achse durch den Schnittpunkt O der horizontalen und vertikalen Drehachsen des Fernrohres geht und der im übrigen in seiner Längsrichtung derartig verschoben werden kann, daß er beim Vorschieben den Durchstoßungspunkt S auf dem Diagrammblatt $A_1 A_1$ liefert. Die genaue Anvisierung des Ballons und die Punktierung erfolgen von Minute zu Minute. Ebenfalls von Minute zu Minute senkt sich der Träger des Diagrammblattes um eine bestimmte Strecke, die bei den bisher ausgeführten Instrumenten 0,8 mm beträgt. Ist nun die Steiggeschwindigkeit des Ballons pro Minute bekannt, so ergibt sich der Maßstab der erhaltenen Zeichnung als Quotient aus der Steiggeschwindigkeit des Ballons zu der Senkungsgeschwindigkeit des Tisches.

Bei den neueren Instrumenten beträgt der Radius des Tisches 95 mm, der nutzbare Radius des Diagrammblattes 80 mm, was beispielsweise bei einer Steiggeschwindigkeit des Ballons von 150 m/min einer horizontalen Entfernung von 14,5 km entspricht. Es hat sich gezeigt, daß bei den gewählten Dimensionen das Punktierwerk in den meisten Fällen ausreicht, um die Beobachtung über den gewünschten Zeitraum zu erstrecken. Sollten trotzdem Fälle vorkommen, in denen die Registrierung über den Rand des Diagrammblattes hinausgeht, oder die Senkung des Tisches nicht ausreicht, so besteht die Möglichkeit, nach Hebung des Tisches die Registrierung in einer zweiten Kurve fortzusetzen. Man hat dann nur nötig, für die verschiedenen Punkte der zweiten Kurve die Radienvektoren jeweils in einem bestimmten Verhältnis zu vergrößern.

Bezeichnet man mit S die letzte Punktierung, die der „n-ten" Beobachtung entspricht, mit S_1 denjenigen Punkt des Diagrammblattes, der bei gleicher Stellung des Fernrohres auf dem Diagrammblatt erzeugt ist, nachdem der Tisch um m Stufen gehoben ist, so ist

$$\frac{PS_1}{PS} = \frac{n-m}{n}.$$

Daraus ergibt sich $m = n \frac{SS_1}{PS} \cdot SS_1$ und PS lassen sich auf dem Diagrammblatt ausmessen, n läßt sich ebenfalls vom Diagrammblatt abzählen, so daß hiernach die Hebung des Tisches m errechnet werden kann, was leicht mit dem Rechenschieber geschieht. Für einen beliebigen Punkt S' der neuen Kurve ergibt sich, wenn es sich um die n'-te Beobachtung handelt, das Vergrößerungsverhältnis für den Radiusvektor PS' zu $\frac{n'}{n'-m}$.

Die größte Schwierigkeit bei der Ausführung des Instrumentes bildet die Ausbildung der Punktiervorrichtung. Nach verschiedenen Versuchen haben sich folgende Einrichtungen als am zweckmäßigsten erwiesen:

1. Vorschub des Punktierstabes von Hand unter Benutzung eines Bowdenzuges, Rücktransport durch eine Feder, die beim Vorschub gespannt wird.

2. Punktierung des Diagrammblattes mittels einer Punktiernadel, die sich stets in senkrechter Stellung zum Diagrammblatt befindet.

3. Anbringung eines besonderen Punktierschuhes am unteren Ende des Punktierstabes, der sich beim Vorschieben des Punktierstabes auf das Diagrammblatt legt und damit die Punktiernadel senkrecht zum Diagrammblatt richtet. Der Punktierschuh muß gegen den Punktierstab drehbar sein, Drehungsachse parallel zur Kippachse des Fernrohres.

4. Die Übertragung der Punktierungsbewegung vom Punktierstabe auf die Nadel des Punktierschuhes hat so zu erfolgen, daß die Bewegung umgesetzt wird, in eine Bewegung in der relativen Drehungsachse, welche Richtung bei sämtlichen Neigungswinkeln für beide Teile eine unveränderliche ist.

---

[1]) Vgl. Dr. C. Schoute, D. R. P. Nr. 245555.

5. Um ein Festklemmen des Punktierstabes und ein Einreißen der Punktiernadel bei kleinen Neigungswinkeln zu verhindern, muß der Punktierstab bei Auflegen des Punktierschuhes auf dem Diagrammblatt und vor Ausführung der eigentlichen Punktierung in seiner Führung geklemmt werden. Nach Ausführung der Punktierung ist diese Klemmung zu lösen.

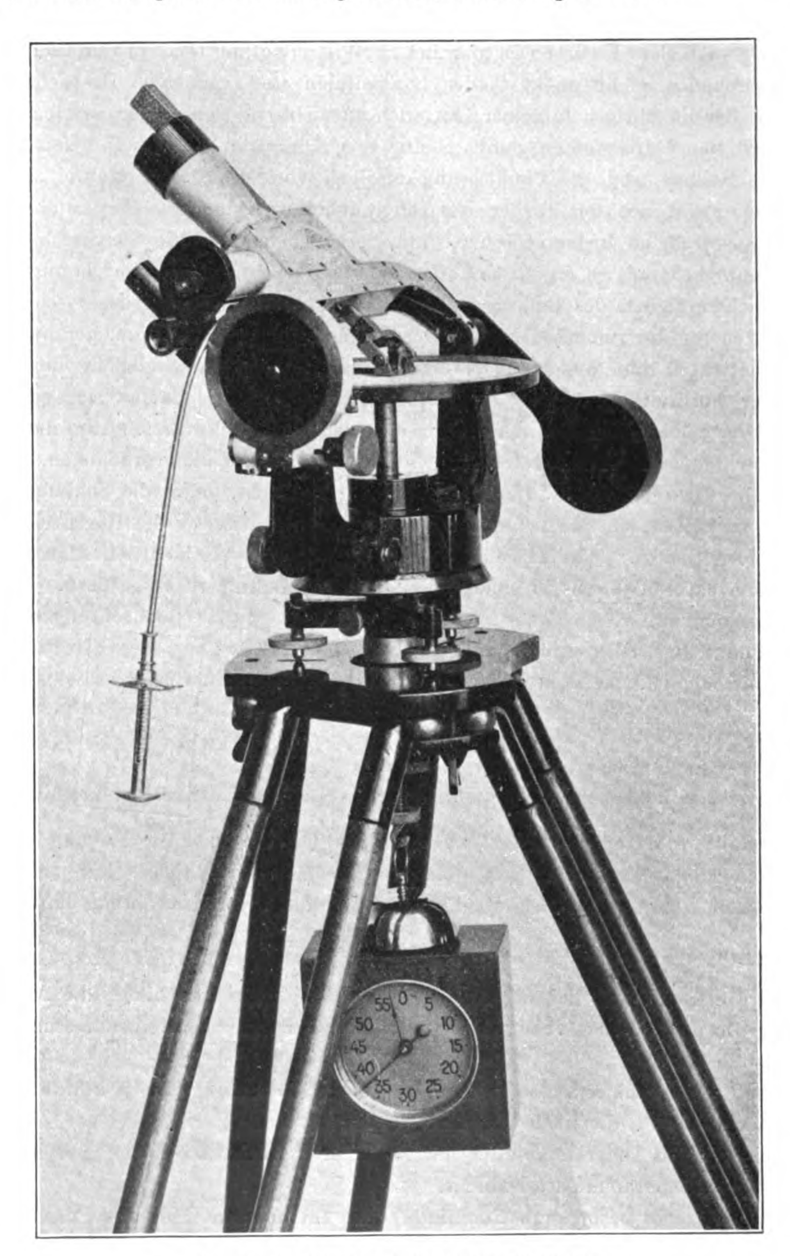


Fig. 2. Registriertheodolit mit Uhr auf Gestell.

6. Es ist eine Einrichtung vorzusehen, die es ermöglicht, jeden fünften Punkt der Punktierung hervorzuheben.

7. Die gesamten Handlungen einschließlich der Senkung des Tisches müssen durch eine einzige Manipulation erfolgen.

Nachdem drei verschiedene Versuchsmodelle seit dem Jahre 1910 in der Werkstatt des Königl. Niederländ. Meteorologischen Instituts in De Bilt angefertigt waren, ist die fabrikationsmäßige Herstellung von der Optischen Anstalt C. P. Goerz A.G., Berlin-Friedenau

übernommen worden. Die Einzelheiten dieses, vor kurzem auf dem Markt erschienenen Instrumentes, dem Dr. C. Schoute in den *Mitteilungen und Verhandlungen des Kgl. Niederl. Meteorologischen Instituts* (*Nr. 26*, *1921*) eine eingehende Beschreibung gewidmet hat, stellen die beigefügten Figuren 2 bis 5 dar.

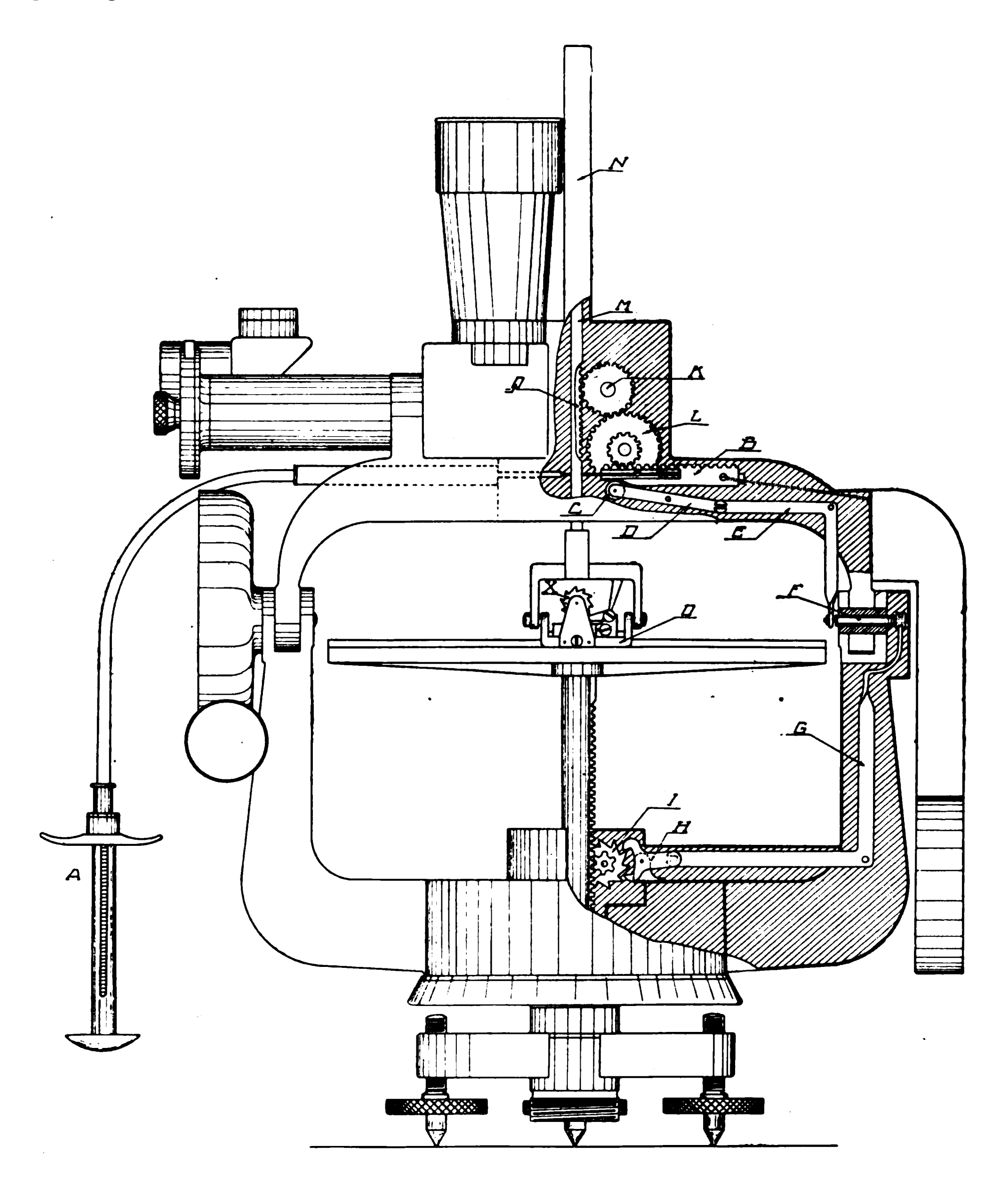


Fig. 3. Registriertheodolit (Schnittzeichnung).

Die Vergrößerung des Fernrohres ist eine 20fache. Als Ablenkungsprisma ist ein Dachkantprisma benutzt worden, so daß die Bilder im Okular aufrecht und seitenrichtig erscheinen. An dem Okular befindet sich ein Farbglasrevolver, um die Sichtbarkeit des Ballons bei verschiedenen Beleuchtungen zu erhöhen. Unmittelbar neben dem Okular befindet sich noch ein Sucherfernrohr mit zweifacher Vergrößerung und 20° Gesichtsfeld, innerhalb dessen der Gesichtsfeldkreis des eigentlichen Fernrohres angegeben ist. Zur Drehung des Fernrohres in vertikaler und horizontaler Richtung sind ausschaltbare Schneckentriebe vorgesehen. Fernrohr- und Punktiervorrichtung sind durch ein Gegengewicht ausbalanciert.

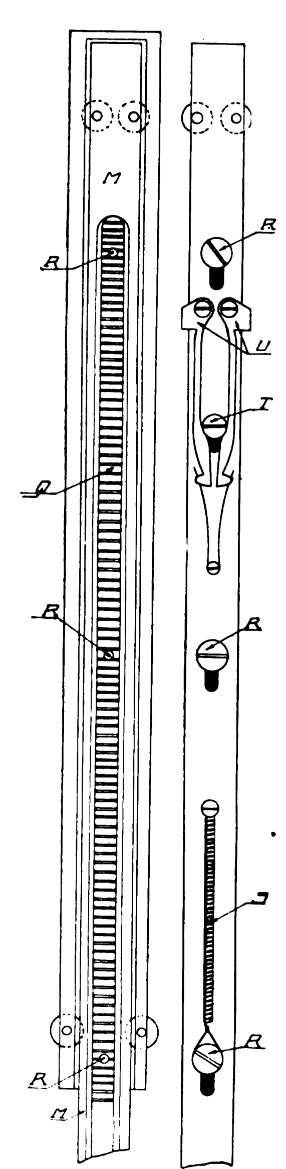


Fig. 4. Punktierstange.

Die Registriervorrichtung wird betätigt durch den Bowdenzug *A*, der an dem Fernrohrträger angebracht ist (Fig. 3), und der dazu dient, das Gleitstück *B*, das in einem Schlitten gelagert ist, zu verschieben. Von diesem Gleitstück aus übertragen sich die Bewegungen des Bowdenzuges sowohl auf den Tisch des Diagrammblattes als auch auf die Punktiervorrichtung.

An dem Gleitstück ist eine Schrägung angebracht, durch welche das Rädchen *C* am Ende des zweiarmigen Hebels *D* beiseite gedrückt wird. Die weitere Übertragung der Bewegung auf den Tisch erfolgt durch die Kniehebel *E* und *G*, welche durch den Stift *F* verbunden sind, welch letzterer sich in einer Durchbohrung der Drehungsachse des Fernrohres befindet, so daß die Übertragungseinrichtung unabhängig von der Lage des Fernrohres arbeitet. Der Kniehebel *G* überträgt die Bewegung weiter auf den zweiarmigen Hebel *H*, der am anderen Ende einen Anker trägt, welch letzterer dazu dient, das Zahnrad *I* bei jeder Bewegung um einen Zahn vorwärts zu drehen und damit in ersichtlicher Weise den Tisch um eine bestimmte Strecke zu senken. Da der Tisch an den Drehungen des Fernrohres nicht teilnimmt, ist die Zahnstange auf einer Hülsebefestigt, welche sich mit dem Fernrohr dreht, während der Tisch stehen bleibt. Um den Tisch wieder heben zu können, kann der Hebel *H* zurückgezogen werden, so daß Anker und Zahnrad außer Eingriff kommen.

Zur Übertragung der Bewegung des Bowdenzuges auf die Punktiervorrichtung ist das Gleitstück *B* mit einer Zahnung versehen, welche über die Zahnräder *L* und *K* auf die Zahnstange *Q* des Punktierstabes *M* wirkt. Das Zahnrad *K* steht unter Wirkung einer Spiralfeder, die die Bewegung des Bowdenzuges rückgängig machen soll.

Der Punktierstab gleitet zwischen Friktionsrädchen innerhalb des Gehäuses *N* und trägt an seinem unteren Ende parallel zur Drehungsachse des Fernrohres drehbar den Punktierschuh *O*.

Die weiteren Einzelheiten der Punktiervorrichtung sind aus den Figuren 4 und 5 ersichtlich:

Die eigentliche Zahnstange *Q* ist innerhalb des Punktierstabes *M* längs verschiebbar gelagert, wobei die Verbindung hergestellt ist durch drei Schrauben *R*, die in geschlitzten Löchern gleiten und von denen die eine durch eine Feder *S* nach oben gezogen wird. Das untere Ende der Zahnstange *Q* greift in das eine Ende des Kniehebels *Y* ein, dessen Drehungsachse in dem gabelförmigen Ende des Punktierstabes befestigt ist und dessen anderes Ende bis in die Drehungsachse des Punktierschuhes reicht und hier in einen Schlitten *W* eingreift, der sich in der Längsrichtung des Punktierschuhes bewegen kann. Auf diesem Schlitten ist ein federnder Sperrhaken *Z* befestigt, der beim Vorziehen des Schlittens das Rad *X* um einen Zahn vordreht und beim Zurückkehren unter dem Zahn wegschlüpft. Die Zähne des Rades *X* drücken ihrerseits auf den Kopf der Punktiernadel *P*.

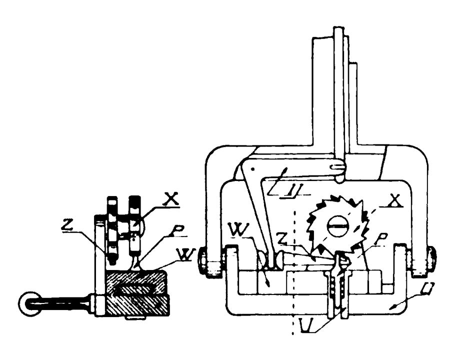


Fig. 5. Punktierwerk.

Die Punktiernadel kann aber nicht ohne weiteres von der Zahnstange aus betätigt werden, vielmehr ist noch eine Sicherung angebracht, die verhindert, daß das Loch punktiert wird, bevor der Punktierstab geklemmt ist, um ein Einreißen der Nadel in dem Diagrammblatt zu verhindern.

Zu diesem Zwecke ist die Nadel *P* von einer Hülse *V* umgeben. Die Nadelhülse wird durch eine leichte Feder derart auseinander gedrückt, daß das untere Ende der Hülse

ein wenig unter der Unterseite des Punktierschuhes herausragt. Die Hülse hat oben einen Bund, der in dem Schlitten W in einer schlüsselförmigen Öffnung im kreisrunden Teil genau paßt, so daß es nötig ist, die Hülse zu lüften und diesen Bund herauszuheben, um die Schlittenbewegung frei zu bekommen. Die Zahnstange Q wird also erst dann zur Bewegung freigegeben, wenn sich der Punktierschuh O auf dem Diagrammblatt aufgesetzt hat, und die Hülse V so weit zurückgedrückt ist, daß die untere Kante mit der Fläche des Punktierschuhes gleichsteht.

Ist somit die Arretierung der Zahnstange freigegeben, so bewegt sich diese vorwärts, wobei sich der Hals der Schraube T zwischen die Klemmbacken U schiebt, so daß sich die daran angebrachten Nasen gegen die Führung des Punktierstabes legen und damit den Punktierstab in seiner Führung festklemmen. Erst nachdem diese Klemmung erfolgt ist, erfolgt die Lochung des Diagrammblattes mittels der Punktiernadel.

Die Hervorhebung jedes 5. Punktes erfolgt in der Weise, daß jeder 5. Zahn des Zahnrades X höher ist als die übrigen vier, so daß die Nadel tiefer in das Diagrammblatt eindringt.

Wie aus der Abbildung 2 ersichtlich, gehört zu der Instrumenten-Ausrüstung eine Uhr, die unterhalb des Instrumentes an einem Gestell aufgehängt wird. Die Uhr ist mit Minutenschlagwerk versehen. Jedesmal, wenn nach der Vorwarnung die Uhr schlägt, wird der Ballon genau auf das Fadenkreuz gebracht, wenn das Klingeln aufhört, muß die Einstellung fertig sein. Das Anziehen des Griffes des Bowdenzuges kann hinterher in aller Ruhe geschehen, solange an der Einstellung des Instrumentes nichts geändert ist. *H. J.*

Bücherbesprechungen.

W. Hort, Technische Schwingungslehre. 2. völlig umgearbeitete Aufl. 8°. VIII, 828 S. m. 423 Fig. Berlin, Julius Springer 1922. Gb. Grundzahl 20.

Was das Buch bringt, geht am besten aus folgenden Kapitelüberschriften hervor:

I. Einfachste ungedämpfte Schwingungsvorgänge.
II. Schwingungen mit Dämpfung.
III. Einfache erzwungene Schwingungen.
IV. Instrumente zur Aufzeichnung von Schwingungen.
V. Rationelle Mechanik.
VI. Analytische und graphische Methoden.
VII. Schwingungen mit einem Freiheitsgrad in der Maschinentechnik.
VIII. Schwingungen mit mehreren Freiheitsgraden.
IX. Schwingungserscheinungen bei Fahrzeugen.
X. Die Kreiseltheorie in der Technik.
XI. Schwingungen fester elastischer Körper.
XII. Periodische Bewegungen nicht elastischer Flüssigkeiten.
XIII. Periodische Bewegungen von Gasen und Dämpfen.
XIV. Elektrisch-mechanische Schwingungen.
XV. Theorie der Koppelschwingungen.
XVI. Schwingungserzeugung durch unperiodische Kräfte.
XVII. Elektromagnetische Schwingungsvorgänge auf geradlinig ausgestreckten Leitern.
XVIII. Elektromagnetische Schwingungsvorgänge im Raum.
XIX. Pseudoharmonische und quasiharmonische Schwingungen.

Das Buch umfaßt also die wichtigsten Schwingungsprobleme der Physik und Technik mit Einschluß der Elektrotechnik. Es ist ein Handbuch der Schwingungslehre im allgemeinsten Sinn des Wortes.

Die Behandlung des Gegenstandes ist selbstverständlich eine vorwiegend mathematische; man ist bei Schwingungsproblemen darauf angewiesen, wenn man zu quantitativen Ergebnissen gelangen will. Außerdem sind aber in dankenswerter Weise auch die experimentellen Methoden zur Untersuchung von Schwingungsvorgängen und die graphischen Verfahren zur Lösung von Schwingungsproblemen ziemlich ausführlich besprochen.

Die physikalischen und mathematischen Voraussetzungen gehen über das nicht hinaus, was man von einem Dipl.-Ing., der auf der Hochschule höhere Mathematik und technische Mechanik gehört hat, mit Fug und Recht erwartet werden kann. Selbst ein Teil von diesem Stoff und noch mehr alles, was ihn etwa übersteigt, wird in den Abschnitten, in denen es gebraucht wird, besonders entwickelt.

Die Bedeutung des Buches für den Ingenieur, der in seinem Fach ja überall auf Schwingungsprobleme stößt, brauche ich kaum zu erörtern. Er findet in dem Buch wohl alles, was er an allgemeinen Gesichtspunkten, an experimentellem und mathematischem Handwerkzeug für die Untersuchung von Schwingungsaufgaben nötig hat. Hervorheben möchte ich aber den Wert des Buches für den Mathematiker und Physiker, der in der Regel technische Zeitschriften nicht dauernd verfolgt. Ihm bietet das Buch eine große Zahl von technischen Anwendungen der Schwingungslehre, wie sie wohl an keiner anderen Stelle in annähernd derselben Vollständigkeit zusammengestellt sind. Ich bin überzeugt, daß der Mathematiker und Physiker, der an einer technischen Hochschule vorzutragen hat, in dem Buch eine Menge von Beispielen für Schwingungsvorgänge findet, die seine Zuhörer mehr interessieren als diejenigen, die sonst in den Vorlesungen üblich sind.

Besonders angenehm habe ich empfunden, daß der Verfasser auch auf Fragen eingeht, die trotz ihrer Wichtigkeit meist etwas stiefmütterlich behandelt werden. Ich nenne z. B. Schwingungen bei denen ein dem Quadrat der Geschwindigkeit proportionaler Widerstand wirkt, dann Stabilitätsfragen aller Art, ferner die Erzeugung von Schwingungen durch scheinbar nichtperiodische Kräfte, endlich quasiharmonische Schwingungen, die nicht mehr durch lineare Differentialgleichungen darstellbar sind.

Die praktische Brauchbarkeit des Buches wird erhöht durch eine ausführliche Literaturübersicht, die das Nachschlagen der Originalliteratur außerordentlich erleichtert, und durch einen Anhang mit Beziehungen und graphischen Darstellungen für die Hyperbel-, Besselschen- und elliptischen Funktionen. *J. Zenneck.*

Hermann Weyl, Raum — Zeit — Materie. Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie. 8°. VIII, 338 S. 5., umgearb. Aufl. m. 23 Textfig. Berlin, Julius Springer, 1923. Grundzahl. 10.

Ein streng wissenschaftlich gehaltenes Buch über allgemeine Relativitätstheorie, welches seit 1918 fünf Auflagen erlebte, braucht keine Empfehlung — es hat sich selbst empfohlen. Viele, die unter dem Einfluß der wissenschaftlichen Mode an das Buch herangingen, mögen es schnell wieder aus den Händen gelegt haben, als sie sahen, daß vor dem Garten der Relativitätstheorie, wie einst über Platons Akademie, eine Tafel stand, welche verkündete: nur Mathematikern sei der Eintritt erlaubt. Diejenigen aber, die den Berg des Tensorkalküls, auf dem Weyl die Wege trefflich geebnet hat, mit ernster Ausdauer erstiegen, gewannen Einblicke, welche allen nur „Mitredenden" versagt sind. Der neuen Auflage seien möglichst viele „wirkliche" Leser gewünscht. Die Höhenlage, auf der sich die Diskussionen über Relativitätstheorie bewegen, dürfte hierdurch nur steigen. *V. E.*

O. D. Chwolson, Lehrbuch der Physik. Zweite verbesserte und vermehrte Auflage. Zweiter Band, erste Abteilung. Die Lehre vom Schall. Herausgegeben von G. Schmidt. X, 154 S. m. 93 Abb. Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn 1919.

Seit mehr als Jahresfrist ruhen die Waffen. Trotzdem war es noch nicht möglich, die durch den Krieg zerrissenen Fäden wieder zusammenzuknüpfen und die Verbindung mit dem Verf. aufzunehmen. So hat sich denn der Herausgeber entschlossen, auch den zweiten Band selbständig zu bearbeiten. Es war dies um so eher möglich, als auf dem Gebiet der Akustik neue umwälzende Entdeckungen oder Theorien in der Zeit seit dem Erscheinen der ersten Auflage nicht erschienen sind. Daß sich der Herausgeber aus den geschilderten Gründen in manchen Punkten eine gewisse Zurückhaltung auferlegen mußte, sei nicht verkannt, es ist ihm aber ohne weiteres zuzustimmen, daß dadurch der Zweck des Werkes, das ja in erster Linie ein Lehrbuch für Studierende sein will, nicht zu kurz gekommen ist. Selbstverständlich sind die Ergebnisse der neueren wichtigeren Arbeiten mit aufgenommen, so daß der Umfang immerhin etwas gewachsen ist.

Die Lehre vom Schall ist in 11 Kapitel eingeteilt: Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schwingungen. Allgemeine Bemerkungen über die Entstehung und Ausbreitung des Schalles. Die Geschwindigkeit des Schalles. Reflexion, Brechung, Interferenz und Absorption des Schalles. Schwingungen von Saiten und Stäben. Schwingungen von Platten und Membranen sowie von gasförmigen Körpern im Innern von Röhren. Methoden zur Bestimmung der sekundlichen Schwingungszahl. Die Erscheinung der Resonanz, Anwendung des Dopplerschen Prinzips. Kombination von Tönen. Das menschliche Stimm- und Gehörorgan. In der Musik gebräuchliche Töne.

Auch bei diesem ersten Teile des zweiten Bandes ist, wie beim ersten (s. *diese Zeitschr.* ***39.*** *S. 263. 1919* und ***40.*** *S. 235. 1920*), die überaus klare und lichtvolle Darstellung zu rühmen, die jetzt auch in stilistischer Beziehung einwandfrei ist. *Berndt.*

Erwiderung.

Zu den „Bemerkungen" und „Ergänzungen" des Herrn G. Breithaupt in *dieser Zeitschr.* ***43.*** *S. 142. 1923* seien mir folgende Ausführungen gestattet:

1. Ich habe in *dieser Zeitschr.* ***42.*** *S. 286. 1922* in einem kurzen geschichtlichen Abriß gesagt: „Die öffentliche Einführung des Skalenmikroskopes in der hier allein weiter betrachteten Form, bei der die Einheit der Grundteilung mit Hilfe der „Skala" in in der Regel 10, aber auch in 15 oder 20 Teile untergeteilt ist, in die geodätische Praxis erfolgte gleichzeitig durch Max Hildebrand in Freiberg und Moritz Hensoldt in Wetzlar im Jahre 1879, nachdem beide sich schon Jahre lang vorher damit beschäftigt hatten." Die sich daran anschließenden Ausführungen zeigen, worin der Unterschied zwischen den Konstruktionen von M. Hildebrand und M. Hensoldt besteht.

Herr G. Breithaupt bezweifelt die Richtigkeit dieser Darstellung, übersieht dabei aber, daß das Skalenmikroskop von M. Hensoldt nur eine Art der von mir begrifflich klar umschriebenen Gattung Skalenmikroskope darstellt; er kann für seine Ansicht kein entscheidendes Beweismaterial anführen. Seine Behauptung: „Bisher wurde die Einführung der Skalenmikroskope allein Moritz Hensoldt zugesprochen" ist ein Irrtum, denn der beste lebende Kenner der historischen Entwicklung des geodätischen Instrumentenwesens, Herr Prof. Dr. E. v. Hammer, schrieb schon 1912 in dieser Zeitschrift (***32.*** *S. 149*): „Das Skalenmikroskop . . . ist 1878 oder 1877 durch Moritz Hensoldt . . . erfunden . . . . Fast gleichzeitig mit Hensoldt hat Lingke in Freiberg das Skalenmikroskop, wenn auch in etwas anderer Form ausgeführt." Zu dieser richtigen Darstellung ist nur zu bemerken, daß die genannte Konstruktion nicht von August Lingke, sondern Max Hildebrand, dem Mitinhaber der Firma August Lingke & Co. in Freiberg, stammt.

Die Richtigkeit meiner oben genannten geschichtlichen Darstellung der „öffentlichen Einführung des Skalenmikroskopes . . . in die geodätische Praxis" kann also nicht bezweifelt werden.

2. Ich führte auf *S. 286* meiner genannten Abhandlung wörtlich aus: „Seine Bedenken gegen die Teilung auf einem Glasplättchen hat er (Max Hildebrand) aber nicht aufrecht erhalten." Was die längeren Ausführungen des Herrn G. Breithaupt hierzu der fachwissenschaftlichen Öffentlichkeit Neues oder Beachtenswertes bieten sollen, vermag ich zu meinem Bedauern nicht zu erkennen.

3. Daß die Regel, „beim Ablesen nicht die ganze Breite des Strichs, sondern stets die nach ein und derselben Seite gelegene Kante desselben in Betrachtung" zu ziehen, „nicht von den hierbei unvermeidlichen erheblichen einseitigen (regelmäßigen) Schätzungsfehlern" befreit, wie ich auf *S. 288* meiner Abhandlung ausgeführt habe, bestreitet Herr G. Breithaupt nicht. Die Tatsache, daß diese Regel bei dem heutigen Stande der geodätischen Feintechnik in Deutschland in einer 1919 veröffentlichten Schrift — auch bei späterem Hinweis auf die Ablesung an der Spitze der Teilstriche — überhaupt noch gegeben werden konnte, veranlaßte mich zu meinen durchaus richtigen, auch in der Form nicht zu beanstandenden Hinweis.

4. Herr Prof. Dr. Ch. A. Vogler, der sicherlich ein hervorragender Instrumentenkenner ist und war, beschrieb in seinem 1885 in Braunschweig erschienenen „Lehrbuch der praktischen

Geometrie, 1. Teil" *S. 149—151* Bild 76 und 77 einen „Breithauptschen Theodolit der Poppelsdorfer Sammlung" mit Skalenmikroskopen. 1892 berichtete er dann in seinen „Abbildungen geodätischer Instrumente" *S. 31—32* über einen gleichen Theodolit der Berliner Sammlung von Otto Fennel Söhne und fügte hinzu: „Die geodätische Sammlung besitzt noch einen zweiten Schätzmikroskoptheodolit von Max Hildebrand in Freiberg, der sich . . . dadurch auszeichnet, daß die Limbusstriche in feine Spitzen endigen. Hierdurch wird die Schwierigkeit vermindert, welche bei Schätzmikroskoptheodoliten darin besteht, daß die Mikrometerstriche feiner erscheinen als die Limbusstriche, trotz aller Bemühung, letztere zu verfeinern." Herr Prof. Dr. Ch. A. Vogler, der also auch die Breithaupt-Theodolite mit Skalenmikroskopen von Hensoldt kannte, hat die Ansicht, daß erst M. Hildebrand den „Weg zu einer brauchbaren Ausnutzung des Skalenmikroskopes mit Glasplättchen" frei gemacht hat, in seinen Vorlesungen, mündlichen Äußerungen und Briefen mehrfach ausgesprochen.

Beiläufig sei erwähnt, daß M. Hildebrand in seiner von mir auf *S. 298* genannten „Instruktion für den Käufer von Theodoliten mit einfachen Ablesemikroskopen" vom Jahre 1883 sagt: „Beim Schätzen der Zehntel bedient man sich nur der Spitzen der Teilstriche" und daß die wohlbekannte Bemerkung von M. Hensoldt in der *Zentral-Ztg. f. Opt. u. Mech. 8. S.244–245. 1887* sich nicht auf Instrumente der Firma F. W. Breithaupt & Sohn bezieht, denn Hensoldt erwähnte diesen Namen garnicht, sagte vielmehr auf S. 44, daß seit „dem Jahre 1879 eine größere Anzahl von Instrumenten durch verschiedene Künstler" mit seinen Skalenmikroskopen ausgerüstet worden sei.

Ich nehme davon Kenntnis, daß die schlanken und genau in der Teilstrichachse liegenden Strichspitzen bei der Firma F. W. Breithaupt & Sohn das Ergebnis eines Zufalles gewesen sind, muß aber feststellen, daß sie bei M. Hildebrand das Ergebnis planvoller Überlegung waren.

5. Herr G. Breithaupt legt Wert darauf, die Methoden genauer historischer Forschung in den vorliegenden Fragen anzuwenden, denn irgendeine praktische Bedeutung hat doch diese ganze Auseinandersetzung nicht. Hierzu sei folgendes Beispiel gegeben: Herr Georg Breithaupt sagt, daß eine Bestellung der Firma Krupp im Juli 1878 Veranlassung zur Einführung der damals in den „Breithaupt-Werkstätten schon bekannten Skalenmikroskope" gegeben habe. Nun schreibt aber die Firma F. W. Breithaupt & Sohn 1879, also unmittelbar nach der Einführung der Skalenmikroskope, in *Carls Repert.* usw. *1879. S. 713—715,* auch abgedruckt in der *Zeitschr. f. Vermw. 9. S. 207. 1880,* das Gegenteil, nämlich: „Durch eine Aufgabe, welche uns Friedrich Krupp im Juli 1878 stellte: Kalibermesser mit einer Genauigkeitsangabe von 0,01 mm herzustellen, was wir mit den bekannten Trommelablesungs-Mikroskopen erreichen wollten, wurden wir durch den uns befreundeten Optiker Hensoldt, mit welchem wir wegen Anfertigung der Mikroskopobjektive in Verbindung traten, auf eine neue Ablesevorrichtung aufmerksam gemacht. Die Verwendbarkeit dieser Hensoldtschen Ablesevorrichtung" usw. Die Firma Breithaupt lernte also die Hensoldt-Skalenmikroskope nach dem Juli 1878 kennen.

Herr G. Breithaupt erklärt weiter, daß die feinen Teilstrichspitzen dadurch entstanden seien, daß Hensoldt für seine Skalenmikroskope „besonders feine Striche" verlangt habe. Das kann natürlich nur nach dem Juli 1878 geschehen sein. Trotzdem schreibt Herr G. Breithaupt, daß die schlanken Spitzen schon von 1877 ab von seiner Firma benutzt worden seien.

Als Schlußstück sei noch Folgendes erwähnt: In den Preisverzeichnissen von 1881, 1892, 1901, 1905, 1908, 1913 und 1921 (Theodolite) spricht die Firma Breithaupt von Hensoldt-Mikrometer- bzw. Skalen-Mikroskopen, in dem Verzeichnis über Grubentheodolite 1920, 1921 und 1922 aber von Skalenmikroskopen „System Breithaupt-Hensoldt"!

Freiberg i. Sa., im März 1923.

Karl Lüdemann.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

7. Heft: Juli.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1923.

Die **Zeitschrift für Instrumentenkunde**

erscheint in monatlichen Heften und kann durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung zum Preise von M. 4000,— für den Monat Juli 1923 zuzüglich Bezugsgebühren bezogen werden. Über die Auslandspreise siehe Beilage im Februarheft.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei 1/4 1/2 1/1 Seite Umfang
Grundzahl 31.25 62.50 125.— Mark
mal Buchhändler-Schlüsselzahl vom Tage d. Erscheinens.

Bei 3 6 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
10 20 % Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: Grundzahl 0,28 × Buchhändler-Schlüsselzahl.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Rücksendung von Bildstöcken erfolgt zu Lasten der Eigentümer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 935 Julius Springer.

Buchhändler-Schlüsselzahl am 21. Juli 1923: 18 500.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **Juli 1923.** Siebentes Heft.

Über die Abhängigkeit der Hefnerlampe vom Luftdruck.

Von
Emil Liebenthal in Charlottenburg.
(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Vorliegende Arbeit ist durch eine Abhandlung von Boltzmann und Basch[1]) über die Abhängigkeit der Hefnerlampe vom Luftdruck veranlaßt worden. Die beiden Autoren finden nämlich in Übereinstimmung mit Butterfield, Haldane und Trotter[2]) für diese Abhängigkeit einen viermal so großen Wert wie ich[3]), während die Ergebnisse der anderen Beobachter nicht wesentlich von dem meinigen abweichen. Auf Grund einer kritischen Behandlung aller auf diesem Gebiete erschienenen Arbeiten wird gezeigt werden, daß sich die bisherigen Unstimmigkeiten bei schärferer Anwendung der Auswertungsverfahren von Butterfield und von Boltzmann wesentlich vermindern, durch das von mir benutzte Verfahren ganz oder nahezu ganz beseitigen lassen.

1. Untersuchungen der Reichsanstalt. Sie wurden in einem hinreichend großen, gut ventilierten, vorher tüchtig gelüfteten Zimmer ausgeführt und bezweckten, das Gesetz zu ermitteln, nach welchem sich die Lichtstärke der Hefnerlampe in Charlottenburg in reiner Luft mit den natürlichen Schwankungen der Feuchtigkeit (s. unten a), des Druckes (b) und des Kohlensäuregehaltes (c) der umgebenden Luft ändert.

Im folgenden bedeutet: y die Lichtstärke der Hefnerlampe (in Hefnerkerzen, HK), x die Feuchtigkeit (in l auf 1 m^3 trockene, kohlensäurefreie Luft), b den Luftdruck, x' den Kohlensäuregehalt (in l auf 1 m^3 trockene, kohlensäurefreie Luft).

a) Es ergab sich, daß innerhalb des untersuchten Feuchtigkeitsgebietes 3 bis 18 l die lineare Beziehung besteht

$$y = 1{,}049 - 0{,}0055\,x, \qquad 1)$$

die unabgerundeten Zahlen waren 1,0486 und 0,00553.

Einer Zunahme der Feuchtigkeit um 1 l entspricht also eine Abnahme der Lichtstärke um

$$c_1 = 0{,}0055 \text{ HK } (= \text{rund } 0{,}55\,^0/_0).$$

b) Eine graphische Diskussion der Abweichungen δ zwischen Beobachtung und Rechnung zeigte, daß sich ein, wenn auch kleiner Teil Δ dieser Abweichungen durch

[1]) *Wiener Ber., Math.-naturw. Kl., Abt. IIa, 131. Bd., 1. Heft 1922.*

[2]) *A paper read at the Meeting of the International Photometric Commission at Zürich, July, 1911.*

[3]) *Diese Zeitschrift 15. S. 157. 1895.* Liebenthal, Praktische Photometrie, *S. 116—121.*

die Schwankungen im Luftdruck b erklären ließ, und durch eine Auswertung nach der Methode der kleinsten Quadrate wurde dieser Teil

innerhalb des untersuchten Luftdruckgebietes 735 bis 775 mm Hg

bestimmt als

$$\Delta = + 0{,}000\,11\,(b - 760). \qquad 2)$$

Einer Zunahme von b um 1 mm entspricht also eine Zunahme von y um

$$c_2 = 0{,}000\,11 \text{ HK} \quad (= \text{rund } 0{,}011\,\%).$$

(Die entsprechende Zunahme für eine gleichzeitig untersuchte 1-Kerzen-Pentandochtlampe betrug 0,04 %, für eine später untersuchte 10-Kerzen-Pentanlampe 0,06 %.)

Ich habe aber die Genauigkeit des Koeffizienten von $(b - 760)$ in Gleichung 2) geringer als die der Konstanten in Gleichung 1) geschätzt und ihn deshalb nur in zwei Ziffern angegeben.

c) Besondere Versuche, bei denen Kohlensäure aus einer Bombe in das anfangs gut gelüftete Zimmer eingeführt wurde, ergaben eine Abnahme der Lichtstärke um

$$c_3 = 0{,}0072 \text{ HK},$$

wenn der Kohlensäuregehalt x' innerhalb des Gebietes 0,6 bis 13,7 l um 1 l zunimmt.

d) Die vollständige Gleichung für die Abhängigkeit der Hefnerlampe von der Beschaffenheit der umgebenden Luft ist demnach

$$y = 1{,}049 - 0{,}0055\,x + 0{,}000\,11\,(b - 760) - 0{,}0072\,(x' - 0{,}75), \qquad 3)$$

wo 0,75 l der Mittelwert von x' in reiner Luft ist.

Aus Gleichung 3) folgt:

$$y = 1 \text{ HK für } x = 8{,}8 \text{ l}; \quad b = 760 \text{ mm}; \quad x' = 0{,}75 \text{ l}.$$

Die Hefnerkerze ist also die Lichtstärke der Hefnerlampe für 8,8 l Feuchtigkeit, 760 mm Luftdruck und 0,75 l Kohlensäuregehalt.

Da in einem gut gelüfteten größeren Beobachtungsraum — und nur in einem solchen sollte die Hefnerlampe photometriert werden — x' um etwa 0,3 l schwankt, so wird dadurch die Lichtstärke nur um 0,2 %, also um eine vollständig innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler liegende Größe geändert, so daß man dann das letzte Glied der Gleichung 3) auch ebensogut fortlassen könnte. Tut man dies und formt die beiden ersten Glieder entsprechend um, so erhält man als Ergebnis der Messungen in reiner Luft für Charlottenburg

$$y = 1 - 0{,}0055\,(x - 8{,}8) + 0{,}000\,11\,(b - 760) \qquad 3\text{a})$$

e) Um die indirekte Bestimmung des Luftdruckeinflusses in der Nähe von 760 mm zu kontrollieren, wurden außerdem noch direkte Messungen in einer kleinen pneumatischen Kammer bei verschiedenen weit voneinander entfernten Luftdrucken gemacht. Der natürliche Luftdruck während der Messungen betrug 768 mm und die bei diesem in der Kammer herrschende Feuchtigkeit 10,6 l, bei den anderen Drucken wurde die Feuchtigkeit nicht gemessen. Es ergab sich bei

einer Verringerung des Luftdruckes um	50	100	150	200	250 mm	4)
eine Schwächung der Lichtstärke um	0,8	2,6	5,3	9,4	14,8 %	
d. h. die Lichtstärke y zu	$0{,}992\,y_0$	$0{,}974\,y_0$	$0{,}947\,y_0$	$0{,}906\,y_0$	$0{,}852\,y_0$	

wo y_0 die bei 768 mm und 10,6 l Feuchtigkeit gemessene Lichtstärke ist. Dagegen ließ ein Überdruck bis zu 150 mm keine Änderung der Lichtstärke erkennen. Die

aufgeführten Lichtstärken y sind aus je zwei Zahlen, welche bis zu 2,5 % voneinander abweichen, graphisch ausgeglichen. Hieraus geht hervor, daß eine Änderung des Luftdruckes sogar innerhalb noch weiterer Grenzen als der bei den natürlichen Schwankungen vorkommenden die Lichtstärke nicht wesentlich beeinflußt. Weitere Schlüsse sind aber nicht gezogen worden, weil ich die Messungen nicht für allzu genau hielt. Diese Unsicherheit rührte daher, daß die Hefnerlampe, besonders während des Überdruckes, unruhig brannte und daß als Vergleichslampe des Universalphotometers (nach Weber) damals noch keine kleine elektrische Glühlampe, sondern nur eine Benzinflamme, welche bekanntlich eine Reihe von Mängeln besitzt, zur Verfügung stand.

Messungen in einer solchen kleinen Kammer haben zwar den Vorzug, schnell zu einem Ergebnis zu führen; ein großer Nachteil liegt aber in der Luftverschlechterung durch Abnahme des Sauerstoffgehaltes unter gleichzeitiger Zunahme des Feuchtigkeits- und Kohlensäuregehaltes. Im vorliegenden Falle war die Luftverschlechterung verhältnismäßig gering, da sich nur der Beobachter der Hefnerlampe in der Kammer aufhielt, während das Photometer außerhalb derselben aufgestellt werden mußte.

2. Nachprüfungen durch spätere Beobachter bestätigten das Bestehen einer linearen Beziehung von der Form

$$y = 1 - c_1 (x - 8{,}8) + c_2 (b - 760) - c_3 (x' - 0{,}75), \qquad 5)$$

soweit es sich um den Feuchtigkeits- und Kohlensäuregehalt handelt.

Was die hier wichtigste Frage, nämlich die nach dem Einfluß des Luftdruckes, besonders in dem Gebiet um 760 mm herum, anbelangt, ist folgendes zu berichten.

a) Paterson[1]), sowie Rosa und Crittenden[2]) beobachteten bei den sich von selbst darbietenden Luftdrucken in großen und gut gelüfteten Räumen, also in stets reiner Luft. Sie nahmen wegen des kleinen Bereiches dieser Schwankungen die Gleichung 5) auch bezüglich des Luftdruckes mit Recht als gültig an und fanden

$$c_2 = 0{,}0002 \text{ bzw.} = 0{,}00014 \text{ HK/mm}.$$

Butterfield, Haldane und Trotter[3]) maßen in einer kleinen Druckkammer (von 10 m³ Rauminhalt) bei einer Reihe von Drucken zwischen 846 und 458 mm (s. Zahlenreihe 17); für gewöhnlich befanden sich zwei Beobachter, ausnahmsweise (bei ungenügender Ventilation) nur einer in der Kammer. Um vergleichbare Zahlen zu erhalten, rechneten sie — ebenso auch die späteren Beobachter (siehe b und c) — die beobachteten Lichtstärken y auf die Normalwerte des Feuchtigkeits- und Kohlensäuregehaltes von 8,8 l bzw. 0,75 l mittels der Formel

$$y' = y + c_1 (x - 8{,}8) + c_3 (x' - 0{,}75)$$

um. Zur Ermittelung der Koeffizienten c_1 und c_3 stellten sie besondere Versuche in einem etwas größeren (20 m³ großen) Raume an, indem sie in denselben Wasserdampf einleiteten bzw. durch längeres Verweilen daselbst, sowie gleichzeitiges Brennenlassen der Hefnerlampe dort größere Mengen Kohlensäure erzeugten.

Kurve *a* (Fig. 1) stellt das Meßergebnis dar; die kleinen Dreiecke entsprechen den einzelnen Beobachtungen, welche jedoch zahlenmäßig nicht mitgeteilt werden. Die Kurve verläuft von etwa 850 bis 700 mm sehr nahezu geradlinig. Innerhalb

[1]) *Journ. Inst. Electr. Eng.* **38**. S. 271. 1906—1907.

[2]) *Bull. Bureau of Standards* **10**. S. 557. 1914.

[3]) l. c.

dieses den normalen Luftdruck von 760 mm enthaltenden Bereiches würde demnach die Lichtstärke der Gleichung 5) **streng** genügen und sich für 1 mm Druckänderung nach **Butterfield** ändern um

$$c_2 = 0{,}0004 \text{ HK/mm:}$$

der genauere Wert würde sein 0,000 43 HK/mm.

Die drei Beobachter weisen ferner darauf hin, daß sich meine in der pneumatischen Kammer gefundenen Werte der Kurve a ziemlich gut anschmiegen, fügen aber mit Recht hinzu, daß ich meine Messungen aus verschiedenen Gründen nicht für allzu genau gehalten habe. Ich habe auf Grund dieser Feststellung meine den Luftdruckbereich 768 bis 518 mm umfassenden Messungen mittels des sich aus Gleichung 3a) für $x = 10{,}6$ l und $b = 768$ mm ergebenden Wertes y_0 entsprechend reduziert und diese Zahlen graphisch aufgetragen (Kurve b).

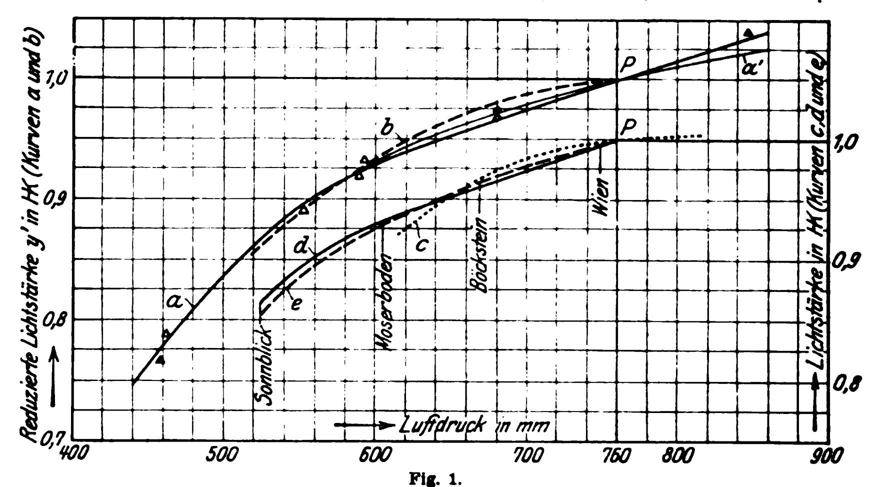


Fig. 1.
Kurven: a, a' Butterfield, b Liebenthal, c Ott, d und e Boltzmann und Basch.

Zu der Untersuchung der drei englischen Forscher ist zu bemerken, daß sie ihrer einzigen Beobachtung bei einem Drucke über 760 mm, nämlich bei 846 mm, augenscheinlich ein zu großes Gewicht gegenüber den beiden Messungen bei dem nächst kleineren Drucke von 680 mm beigelegt haben, da sie die Kurve a unterhalb der beiden Punkte, welche die Messungen bei 680 mm darstellen, vorüberführen. Demgemäß habe ich den im Bereiche 580 bis 860 mm liegenden Teil der Kurve a durch die Kurve a' ersetzt, welche mitten zwischen diesen beiden Punkten hindurch geht, und diese ergibt für Luftdrucke in der Nähe von 760 mm

$$c_2 = 0{,}000\,31 \text{ HK/mm}.$$

Diese Zahl stellt meiner Meinung nach die Butterfieldschen Versuche richtig dar.

Butterfield legte das Ergebnis seiner Arbeit der Internationalen Lichtmeßkommission im Jahre 1911 vor. Zur Aufklärung der bisherigen Unstimmigkeiten im Luftdruckkoeffizienten c_2 empfahl die Kommission weitere Messungen an verschieden hoch gelegenen Orten vorzunehmen.

b) **Ott**[1]) stellte solche Versuche an. Da diese aber wegen zu kleiner Arbeitsräume und aus anderen Gründen ergebnislos verliefen, griff er zu der Beobachtungs-

[1]) *Journ. f. Gasbel. u. Wasservers.* 58. *S.* 749. 1915.

weise der drei englischen Forscher zurück, jedoch mit dem Unterschiede, daß dauernd drei Beobachter in der (16 m^3 großen) Druckkammer beschäftigt waren. Um die Beobachtungszeit zu verkürzen und dadurch die Luftverschlechterung möglichst zu verringern, maß er nur bei drei Drucken: 717 mm (dem ungefähren mittleren Luftdruck von Zürich), sowie bei 816 und 614 mm. Außerdem übte er die Vorsicht, bei der Wiederholung der Versuche die Reihenfolge der Drucke fortwährend zu ändern. Die Koeffizienten c_1 und c_3 wurden in demselben Raume bestimmt. Ott teilt das Ergebnis seiner Messungen in einer Kurve mit, in der die Lichtstärkenabnahme als Abszisse, der Luftdruck als Ordinate aufgetragen ist, in der die Lichtstärke für den höchsten Druck, also im Grunde genommen gleich 1 gesetzt ist. Ich habe nun aus dieser Kurve die Lichtstärken für eine Reihe von Drucken abgelesen, die für 760 mm gefundene als neue Einheit angenommen und aus den so umgerechneten Werten eine neue Kurve (Kurve *c*, Fig. 1) abgeleitet. Die Kurve *c* ist der größeren Deutlichkeit wegen zugleich mit den beiden noch zu besprechenden Kurven *d* und *e*, unter Verschiebung des Lichstärkenmaßstabes, getrennt von den Kurven *a* und *b* aufgezeichnet. Sie ist im oberen Teile verhältnismäßig schwach, im unteren verhältnismäßig stark gekrümmt. Demnach ändert sich die Lichtstärke zwischen 816 und 614 mm in keinem Bezirke streng linear mit dem Luftdruck *b*, wohl aber im Bereiche 816 bis 717 mm annähernd linear; d. h. es ist für diesen Bereich Gleichung 5) in bezug auf *b* annähernd erfüllt, und zwar ergibt sich hier c_2 als die durchschnittliche Lichtstärkenänderung auf 1 mm Druckänderung zu

$$c_2 = 0{,}000\,11 \text{ HK/mm}.$$

c) Boltzmann und Basch[1]) stellten, ebenfalls durch die Internationale Lichtmeßkommission angeregt, sehr umfangreiche und sorgfältige Messungen an Orten verschiedener Höhenlage an. Diese Orte waren Wien (165 m Meereshöhe; 748,5 mm mittlerer Luftdruck während der Messungen), Böckstein (1125 m; 668,8 mm), Moserboden (1965 m; 604,7 mm) und Sonnblick (3100 m; 523,5 mm). Der kleinste Arbeitsraum (auf dem Sonnblick) war 35 m^3 groß, also wesentlich größer als die pneumatischen Kammern, aber immerhin noch recht klein; leider aber stand hier ein größerer Raum nicht zur Verfügung. Unter Benutzung eines Satzes von Normallampen „zweiter und dritter Klasse", die am Anfang und nach Beendigung der Untersuchung an in Wien zurückgelassene Normallampen „erster Klasse" angeschlossen wurden, bestimmten sie für jede Station das Verhältnis der Lichtstärke *y* der Hefnerlampe zum Mittelwerte J_1 der Lichtstärken der Normallampen erster Klasse. Der Gang des Rechnungsverfahrens war nun, wenn wieder

y' die auf 8,8 l Feuchtigkeit und 0,75 l Kohlensäuregehalt reduzierte Lichtstärke bedeutet, der folgende. Sie berechneten aus dem für Wien gefundenen Werte y/J_1 mittels der durch einen besonderen Vorversuch in Wien ermittelten Koeffizienten

$$c_1 = 0{,}00\,336; \quad c_2 = 0{,}0004\,49; \quad c_3 = 0{,}0183$$

die Lichtstärke J_1, mit diesem Werte die nachstehenden Lichtstärken für

	Wien	Böckstein	Moserboden	Sonnblick	
$y' =$	0,9948	0,9603	0,9327	0,8628 HK	6)

und aus den für die drei unteren Stationen gefundenen Werten y' mittels der linearen Gleichung

$$y' = 1 + c_2 (b - 760) \qquad 6^*)$$

[1]) l. c.

durch Auswertung nach der Methode der kleinsten Quadrate einen „verbesserten" Wert

$$c_2 = 0{,}000434.$$

Sie wiederholten sodann mit diesem neuen Werte c_2 die Rechnung, fanden schließlich für die Stationen

	Wien	Böckstein	Moserboden	Sonnblick	
$y' =$	0,9951	0,9606	0,9329	0,8630 HK	6a)

und wieder aus den Werten für die unteren drei Stationen endgültig

$$c_2 = 0{,}000432 \text{ HK/mm}. \qquad 6b)$$

Die beiden Autoren führten hierauf das stufenweise Rechnungsverfahren auch noch mit meinen Werten c_1, c_2, c_3 durch. Sie erhielten zunächst

$$y' = 0{,}9987 \qquad 0{,}9677 \qquad 0{,}9322 \qquad 0{,}8548 \text{ HK}; \qquad 7)$$

sie berechneten sodann den „verbesserten" Wert c_2 als das Verhältnis des Unterschiedes in den Lichtstärken für Wien und Böckstein zu dem entsprechenden Druckunterschiede zu 0,000389, fanden mit diesem Werte schließlich

$$y' = 0{,}9955 \qquad 0{,}9647 \qquad 0{,}9293 \qquad 0{,}8521 \text{ HK} \qquad 7a)$$

und wieder aus den beiden ersten Werten endgültig

$$c_2 = 0{,}000\,386 \text{ HK/mm}. \qquad 7b)$$

Die Kurven d und e (Fig. 1) sind aus den Zahlenreihen 6a) und 7a) abgeleitet. Die Kurve d stellt mithin das aus dem gesamten Beobachtungsmaterial von Boltzmann und Basch ermittelte Ergebnis der Untersuchungen dar oder, wie die Verf. sich ausdrücken, das „Änderungsgesetz der Lichtstärke der Hefnerlampe bei geändertem Luftdruck". Sie fällt fast genau mit dem entsprechenden Teile der Kurve a zusammen; sie verläuft also innerhalb des für die drei unteren Stationen geltenden Luftdruckbereiches 749 bis 605 mm nahezu geradlinig, und aus diesem Grunde benutzen die Verf. die für diese drei Stationen gefundenen Werte zur Berechnung von c_2.

Die mit meinen Werten c_1, c_3 gefundene Kurve e liegt im Bereich 760 bis 620 mm ein wenig oberhalb, sodann ein wenig unterhalb der Kurve d, ist aber im Gegensatz zu dieser stetig gekrümmt. Die aus der Zahlenreihe 7) abgeleitete Kurve e_0 (in Fig. 1 nicht angegeben) verläuft ein wenig oberhalb der Kurve e und praktisch parallel zu dieser.

Die Werte 0,000389 und 0,000386 bezeichnen, wie man sieht, die durchschnittliche Lichtstärkenänderung auf 1 mm Druckänderung in dem großen unterhalb 760 mm liegenden Gebiet 749 bis 669 (Wien-Böckstein). Sie sind wegen der Krümmung der Kurven e_0 und e aber — im Gegensatz zu der Annahme von Boltzmann und Basch — nicht identisch mit dem für die vorliegende Arbeit in Betracht kommenden Druckkoeffizienten c_2 für einen kleinen Bereich bei 760 mm. Vielmehr ergibt die Kurve e_0 durch graphische Auswertung $y' = 1{,}0020$ HK für $b = 760$ mm, demnach für den Bereich 760 bis 749 (genauer 748,5) mm $c_2 = 0{,}00029$. Führt man mit diesem verbesserten Wert den zweiten Teil der Rechnung durch, so erhält man schließlich

$$y' = 0{,}9967 \qquad 0{,}9658 \qquad 0{,}9303 \qquad 0{,}8530 \text{ HK}; \qquad 7c)$$

daraus durch graphische Auswertung $y' = 1{,}0000$ für $b = 760$, mithin für den Bereich 760 bis 748,5 mm wieder

$$c_2 = 0{,}00029 \text{ HK/mm}. \qquad 7d)$$

Dies ist mithin der Wert, der sich aus den Versuchen von Boltzmann und Basch mit meinen Werten c_1, c_2, c_3 ergibt, wenn man ihr eigenes Rechnungsverfahren streng durchführt.

3. Zusammenstellung der bisherigen Ergebnisse. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen, der Zeit der Veröffentlichung nach geordnet, zusammengestellt.

Tabelle 1.

Beobachter	Koeffizient des Feuchtigkeitsgehaltes c_1	des Kohlensäuregehaltes c_3	des Luftdruckes c_2
Liebenthal (1895)	0,0055	0,0072	0,00011
Paterson (1907)	0,0066	—	0,0002
Butterfield, Haldane und Trotter (1911)	0,00625	0,022	0,0004
Rosa und Crittenden (1914)	0,0056	—	0,00014
Ott (1915)	0,0062	0,033	0,00011
Boltzmann und Basch (1922)	0,00336	0,0183	{0,000432 0,000386

Aus der zweiten Vertikalreihe ist ersichtlich, daß Boltzmann und Basch einen wesentlich kleineren Feuchtigkeitskoeffizienten c_1 als alle anderen finden. Unter Berücksichtigung des Umstandes, daß der von mir gefundene Wert zu keinem Widerspruch bei meinen späteren Messungen der Hefnerlampe führte und mit dem von Rosa und Crittenden aus mehrjährigen, sehr sorgfältigen Versuchen bei großen Feuchtigkeiten (bis zu 27 l) abgeleiteten nahezu übereinstimmt, halte ich meine Zahl für zuverlässig, dagegen die Wiener Zahl für entschieden viel zu klein. Übrigens geben die Verf. selbst zu, daß ihre Koeffizienten c_1, c_2, c_3 „etwas unzuverlässig" sind. Die Unterschiede in den Zahlenreihen 6a) und 7a) sind hauptsächlich durch die Abweichungen zwischen dem Boltzmannschen Werte c_1 und dem meinigen veranlaßt.

In der dritten Vertikalspalte sind die Koeffizienten des Kohlensäuregehaltes zusammengefaßt. Wie man sieht, erhalte ich wesentlich kleinere Werte als die anderen Beobachter. Was die diesbezüglichen Untersuchungen von Butterfield und von Ott anbelangt, rührt der Unterschied daher, daß diese zur Erzeugung der Kohlensäure die Luft durch Atmungs- und Verbrennungsprozesse absichtlich verschlechterten und die Wirkung der Verminderung des Sauerstoffgehaltes, obwohl sie auch diesen stets experimentell bestimmten, nicht in Rechnung stellten, also den Einfluß der Kohlensäurezunahme einschließlich der gleichzeitigen Sauerstoffabnahme ermittelten; es ist deshalb die Wirkung der Sauerstoffverminderung nicht immer rechnerisch ganz eliminiert worden. Da es sich bei den Untersuchungen der Reichsanstalt darum handelte, festzustellen, inwieweit die Schwankungen des Kohlensäuregehaltes in reiner Luft die Lichtstärke der Hefnerlampe beeinflußten, führte ich dagegen reine Kohlensäure in reine Luft ein.

Die letzte Vertikalspalte enthält endlich die Zahlenwerte des Luftdruckkoeffizienten c_2. Sie zeigt, daß sich hier, wie schon anfangs erwähnt wurde, die Beobachter in zwei Gruppen teilen. Nimmt man aus meinem Werte 0,00011 und den drei mit ihm relativ gut übereinstimmenden das Mittel, so erhält man die Zahl

$$c_2 = 0{,}000\,14 \text{ HK/mm}. \qquad 8)$$

4. Nachrechnungen meines eigenen Beobachtungsmateriales. Während ich früher, wie ich schon zu Anfang ausführte, erst die Zahl $c_1 = 0{,}00553$ und daraus die Zahl $c_2 = 0{,}00011$ ableitete, berechnete ich diese Konstanten jetzt gleichzeitig mittels der Formel

$$y = 1 - c_1(x - 8{,}8) + c_2(b - 760)$$

und erhielt in sehr guter Übereinstimmung mit den früheren Werten jetzt

$$c_1 = 0{,}00552; \quad c_2 = 0{,}00012.$$

Die Zahl 0,00553 schätze ich auf etwa 5 Einheiten der letzten Dezimale, die Zahl 0,00011 auf etwa 3 Einheiten der letzten Dezimale genau.

Der Wert $c_2 = 0{,}0004$ widerspricht entschieden meinen Messungen. Denn die Abweichungen zwischen den beobachteten und den nach Gleichung 1) berechneten Lichtstärken, demnach auch die auf gleiche Feuchtigkeit umgerechneten Lichtstärken schwanken um höchstens 1,8 %. Dagegen würden diese Lichtstärken, bei Gültigkeit des Wertes 0,0004, allein infolge der zwischen 735 und 775 mm liegenden Schwankungen des Luftdruckes um 1,6 %, unter Mitwirkung der unvermeidlichen Beobachtungsfehler um einen wesentlich höheren Betrag schwanken. Diesen schätze ich auf mindestens 3 %, unter der Annahme, daß sich die Hefnerlampe wie die 1-Kerzen-Pentanlampe verhält, deren Lichtstärke sich gerade um 0,04 % auf 1 mm Druckänderung (s. 1b) ändert.

Es wäre nun allerdings der Fall denkbar, daß bei den Versuchen in der Reichsanstalt ein vom Luftdruck abhängiger Vorgang (etwa die natürliche Ventilation) in der Weise mitgewirkt habe, daß dadurch die Lichtstärke bei steigendem Luftdruck etwas verringert, bei sinkendem etwas vergrößert wurde, so daß sich der direkte Einfluß des Luftdruckes nicht ganz geltend machte. Einen solchen fremden Einfluß konnte ich indes nicht feststellen. Da ich auch sonst keine Fehlerquellen zu entdecken vermochte, sehe ich keine Veranlassung, vor der etwaigen Festsetzung eines endgültigen Wertes für c_2 (vgl. Gleichung 22 und Bemerkungen dazu) vorläufig von der Berechnung der Lichtstärke nach der Formel 3a) abzugehen; denn die gegenwärtige Unsicherheit im Koeffizienten c_2 ist innerhalb des in Charlottenburg herrschenden Luftdruckbereiches nicht von großer Wichtigkeit, da der dadurch eingeführte Fehler innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler liegt.

5. Auswertung der Beobachtungen mittels einer quadratischen Beziehung. Die Kurve *d* von Boltzmann und Basch hat, ebenso wie die Kurve *a* von Butterfield, einen wenig einleuchtenden Verlauf, da sie sich aus einem geradlinigen und einem gekrümmten Teil zusammensetzt. Unter der Annahme einer einfachen Beziehung zwischen Lichtstärke und Luftdruck müßte die Kurve in ihrem ganzen Verlaufe entweder geradlinig oder gekrümmt sein. Boltzmann und Basch halten den gekrümmten Teil der Kurve *d* für unzuverlässig, mithin den geraden für einwandfrei, sie nehmen deshalb die Lichtstärke innerhalb des Luftdruckbereiches der drei unteren Stationen als eine lineare Funktion des Luftdruckes an und berechnen dementsprechend den Wert c_2 aus den Lichtstärken für diese drei Stationen. Als Grund für die Unzuverlässigkeit des gekrümmten Teiles geben sie an, daß sie auf dem Sonnblick bei der sehr niedrigen Temperatur von $+3{,}27^0$, auf den drei anderen Stationen bei normalen Temperaturen (im Mittel zwischen 17 und 19^0) photometrierten. Andererseits aber müssen sie zugeben, daß nach den Untersuchungen von Butterfield, Haldane und Trotter, welche für den der Sonnblickhöhe entsprechenden Luftdruck bei normaler Zimmertemperatur nahezu die gleiche Licht-

stärke wie sie erhielten, auch bei weiteren Abweichungen der Temperatur von der normalen noch kein Einfluß der Lufttemperatur auf die Lichtstärke der Hefnerlampe erkennbar zu sein scheine. Nach meinen Messungen in den Jahren 1893 bis 1895 ist innerhalb der beobachteten Schwankungen zwischen 13 und 26° der Einfluß der Lufttemperatur, wenn ein solcher überhaupt vorhanden ist, so klein, daß er vollkommen zu vernachlässigen ist. Auch Rosa und Crittenden[1]) konnten innerhalb des gewöhnlichen Bereiches der Laboratoriumstemperaturen eine Abhängigkeit der Lichtstärke der Hefnerlampe[2]) von der Temperatur nicht nachweisen. Demnach wäre umgekehrt der geradlinige Teil von *d*, dessen Zustandekommen wohl einem Zusammentreffen von Zufälligkeiten, besonders beim Wiener Vorversuch, zuzuschreiben ist, nicht zuverlässig. Dagegen entspricht die ganze Kurve *e* der Anforderung stetig gekrümmt zu sein. Die Gestalt dieser Kurve, zu der die beiden Wiener Forscher kein großes Vertrauen zu haben scheinen, legte mir gleich von Anfang an die Vermutung nahe, daß man die gesamten Beobachtungen nicht mittels einer linearen, sondern mittels einer quadratischen Gleichung von der Form

$$y' = 1 + c_2'(b - 760) - c_2''(b - 760)^2 \qquad 9)$$

auswerten müsse.

Mittels dieser Relation erhält man aus den gesamten Messungen von Boltzmann und Basch, d. h. wenn man von der Zahlenreihe 6) ausgeht, nach Durchführung des stufenweisen Rechnungsverfahrens endgültig als Werte der reduzierten Lichtstärken für die vier Stationen (Wien, ...)

$$y' = 0{,}9968 \quad 0{,}9621 \quad 0{,}9344 \quad 0{,}8645\ \text{HK}; \qquad 10)$$

daraus

$$c_2' = 0{,}000238; \quad c_2'' = 0{,}00000139 \qquad 10\text{a})$$

und mit diesen beiden Faktoren aus Gleichung 9) die theoretischen Werte

$$[y'] = 0{,}9971 \quad 0{,}9667 \quad 0{,}9295 \quad 0{,}8659\ \text{HK}, \qquad 10\text{b})$$

demnach betragen die Abweichungen $\delta = y' - [y']$ oder anders ausgedrückt die „Meßfehler“

$$\delta = 0{,}0\,\% \quad -0{,}5\,\% \quad +0{,}5\,\% \quad -0{,}2\,\%.$$

Vergleichsweise sei hinzugefügt, daß bei den Versuchen in der Reichsanstalt die Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung nach Gleichung 1) im Mittel $\pm 0{,}41\,\%$ betrugen. Die obigen Abweichungen δ sind demnach als verhältnismäßig klein zu bezeichnen.

Die Ausgleichung des Beobachtungsmaterials unter Benutzung der Reichsanstaltswerte c_1, c_2, c_3, also die Ausgleichung der Zahlen der Reihe 7) ergibt schließlich

$$y' = 0{,}9981 \quad 0{,}9672 \quad 0{,}9316 \quad 0{,}8542\ \text{HK} \qquad 11)$$

$$c_2' = 0{,}000156^5; \quad c_2'' = 0{,}00000193 \qquad 11\text{a})$$

$$[y'] = 0{,}9980 \quad 0{,}9697 \quad 0{,}9291 \quad 0{,}8550\ \text{HK} \qquad 11\text{b})$$

$$\delta = 0{,}0\,\% \quad -0{,}3\,\% \quad +0{,}3\,\% \quad -0{,}1\,\%,$$

also eine noch bessere Übereinstimmung zwischen y' und $[y']$ als vorher.

---

[1]) l. c. *S. 574.*

[2]) Dagegen fanden Rosa, Crittenden und Taylor neuerdings (*Journ. Opt. Soc. Amer.* **5.** S. *444. 1921*), daß die 10-Kerzen-Pentanlampe einen kleinen negativen Temperaturkoeffizienten (0,1 % Abnahme der Lichtstärke auf 1° Zunahme der Temperatur) besitzt.

Fig. 2 enthält das Ergebnis dieser Berechnungsweise. Die Kurven d_1 und e_1 sind aus den Zahlenreihen 10) und 11) abgeleitet; sie sind also die neuen „experimentellen“ Kurven, welche nunmehr an Stelle der Kurven d und e in Fig. 1 zu treten haben. Die Kurven d_2 und e_2, die aus den Zahlenwerten 10b) und 11b) gewonnen sind, stellen die „theoretischen“ Kurven dar. Zum Vergleich sind auch noch die Kurven d, e und a hinzugefügt.

Ich habe nun auch das übrige Beobachtungsmaterial in der gleichen Weise durchrechnet.

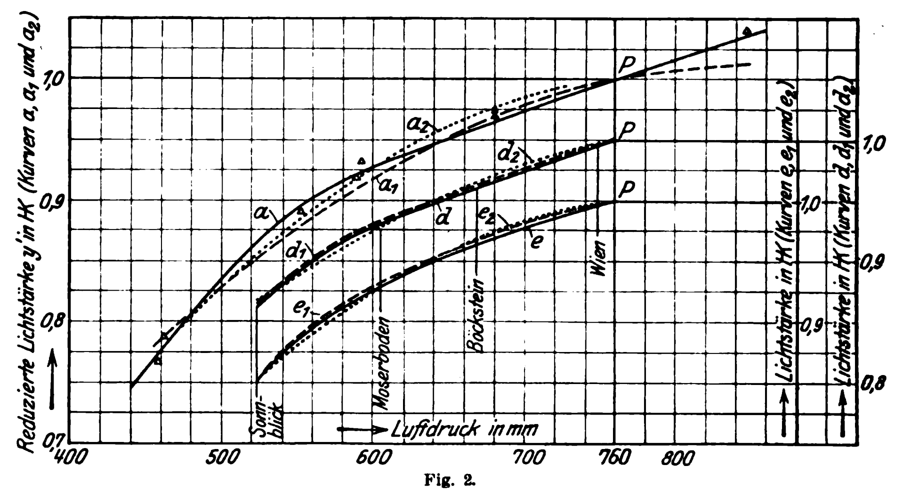


Fig. 2.
Kurven: a a_1, a_2 Butterfield, d, d_1, d_2 und e, e_1, e_2 Boltzmann und Basch.

Meine Messungen in der pneumatischen Kammer (Kurve b, Fig. 1) ergeben

$$c_2' = 0{,}49 \cdot 10^{-5}; \quad c_2'' = 2{,}27 \cdot 10^{-6} \qquad 12)$$

und die daraus abgeleiteten $[y']$ stimmen, obgleich es sich um sechs Zahlen handelt, mit den beobachteten y' bis auf $\pm 0{,}1\,^0/_0$ überein. Diese gute Übereinstimmung muß ich mit Rücksicht auf die Unsicherheit der Einzelmessungen als eine überraschende bezeichnen; ich vermag sie nur dem von mir vorgenommenen graphischen Ausgleich zuzuschreiben.

Ott hat sich allerdings nur auf drei Drucke beschränkt. Wenn man durch die den Beobachtungen entsprechenden drei Punkte eine Kurve zweiten Grades von der Form $y' = A + B(b - 760) - C(b - 760)^2$ hindurchlegt, so erhält man die Konstanten $A = 1{,}0027$; $B = 1{,}52 \cdot 10^{-4}$; $C = 2{,}81 \cdot 10^{-6}$, von denen B die Neigung der Kurve bei $b = 760$ mm angibt, demnach den Druckoeffizienten bei $b = 760$ m bezeichnet. Zwingt man diesen Punkten eine solche Kurve zweiten Grades auf, die durch den Punkt mit den Koordinaten $b = 760$; $y = 1{,}00$ (Punkt P der Kurve c in Fig. 1) hindurchgeht, d. h. verwertet man die Gleichung 9), so erhält man

$$c_2' = 1{,}68 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 2{,}56 \cdot 10^{-6} \qquad 13)$$

mit Abweichungen δ bis zu $0{,}3\,^0/_0$. Anscheinend ist die bei 614 mm gefundene Lichtstärke um rund $2\,^0/_0$ fehlerhaft; eine entsprechende Korrektion würde ergeben

$$c_2'' = 1{,}45 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 1{,}88 \cdot 10^{-6}. \qquad 13\text{a})$$

Wegen der geringen Anzahl der gemessenen Drucke haben aber diese Koeffizienten ein geringeres Gewicht als der aus den Messungen bei 816 und 717 mm direkt errechnete Wert $c_2 = 0{,}00011$.

Im folgenden soll nun bedeuten:

δ_m und $\delta_{\max}$ den Mittelwert bzw. den größten Wert von δ;

a_1 und a_2 theoretische Kurven in Fig. 2.

Die durch die kleinen Dreiecke (Kurve a, Fig. 1 und 2) gekennzeichneten Beobachtungen von Butterfield liefern

$$\left.\begin{array}{c} c_2' = 2{,}68 \cdot 10^{-4};\; c_2'' = 1{,}49 \cdot 10^{-6}; \\ \delta_m = \pm 1{,}7\,\%;\; \delta_{\max} = +2{,}7\,\% \text{ bei } 846 \text{ mm};\; a_1. \end{array}\right\} \qquad 14)$$

Bei der Bewertung der Abweichungen δ ist zu berücksichtigen, daß die relative Genauigkeit etwa 1,5 % betragen dürfte.

Anscheinend ist der bei 846 mm, dem einzigen Überdrucke, beobachtete Wert zu groß. Nimmt man statt dessen den berechneten, so ergibt sich

$$\left.\begin{array}{c} c_2' = 1{,}68 \cdot 10^{-4};\; c_2'' = 1{,}87 \cdot 10^{-6}; \\ \delta_m = \pm 1{,}0\,\%;\; \delta_{\max} = -1{,}7\,\% \text{ bei } 458 \text{ mm}. \end{array}\right\} \qquad 14a)$$

Läßt man diese Messung ganz fort, beschränkt sich also auf das Gebiet der Unterdrucke, so findet man

$$\left.\begin{array}{c} c_2' = 0{,}99 \cdot 10^{-4};\; c_2'' = 2{,}13 \cdot 10^{-6}; \\ \delta_m = \pm 0{,}85\,\%;\; \delta_{\max} = -1{,}2\,\% \text{ bei } 458 \text{ mm};\; a_2. \end{array}\right\} \qquad 14b)$$

Durch Hinzufügung eines kubischen Gliedes in Gleichung 9) gewinnt man aus allen Messungen eine theoretische Kurve, welche sich nicht wesentlich besser an die Kurve a anschmiegt; denn es wird $\delta_m = \pm 0{,}9\,\%$, $\delta_{\max} = +1{,}9\,\%$ (bei 462 mm) und die Kurve hat insofern einen wenig wahrscheinlichen Verlauf, als sie bei etwa 790 mm einen Wendepunkt besitzt.

Ein ungefähres Urteil darüber, woher der große Unterschied der Werte c_2' und c_2'' in den Reihen 14) und 14b) herrührt, und was ihre wahrscheinlichen Werte sind, läßt sich nur auf Grund einer Fehlerschätzung gewinnen.

Genauigkeit von c_2'. Bedeuten

$y_1', b_1;\; y_2', b_2;\; \ldots;\; y_p', b_p;\; \ldots;\; y_n', b_n$ die beobachteten Wertepaare;

c_2' den daraus nach der Methode der kleinsten Quadrate berechneten Koeffizienten von $(b - 760)$;

β die Differenz $(b - 760)$,

so entspricht einer Änderung von y_p' um $\delta y_p'$ eine Änderung von c_2' um

$$\delta c_{2,p}' = \delta y_p' \cdot \frac{\beta_p(\Sigma\beta^4 - \beta_p \Sigma\beta^3)}{\Sigma\beta^2 \cdot \Sigma\beta^4 - (\Sigma\beta^3)^2}, \qquad 15)$$

wo über alle gemessenen β zu summieren ist.

Ein entsprechender Ausdruck gilt auch für $\delta c_{2,p}''$. Eine besondere Berechnung von $\delta c_{2,p}''$ ist jedoch überflüssig, da bei der Bestimmung des Luftdruckkoeffizienten für $b = 760$ mm c_2'' keine Rolle spielt (s. Gleichung 20a).

$\delta c_{2,p}'$ ist also das Produkt aus $\delta y_p'$ und einem Bruche, der eine quadratische Funktion des zugehörigen β_p ist. Diese Funktion ist in den vorliegenden Fällen für den größten Unterdruck β_p negativ, nimmt mit wachsendem β, also mit abnehmendem Unterdruck, stetig zu, wird für $\beta_p = \Sigma\beta^4/\Sigma\beta^3$ gleich Null, erreicht für den Unterdruck

$$\beta_p' = \Sigma\beta^4 / 2\,\Sigma\beta^3$$

einen Maximalwert, wird für $\beta = 0$ wieder gleich Null, nimmt mit weiter wachsendem (nunmehr positivem) β weiter ab, und zwar im Falle der Butter-

fieldschen Untersuchungen derart, daß ihr absoluter Betrag für den größten Überdruck jenen Maximalwert noch überschreitet.

Die Versuche von Boltzmann und Basch ergeben

$$\Sigma\beta^2 = 88514; \quad \Sigma\beta^3 = -177{,}36 \times 10^5; \quad \Sigma\beta^4 = 37\,795 \times 10^5,$$

$$\text{demnach } \beta_p' = -107 \text{ mm}.$$

Der β_p' nächst gelegene Druck ist der in Böckstein gemessene -91 mm. Eine Änderung der hier gefundenen Lichtstärke beeinflußt also das Resultat am stärksten. Die Zahlen der Reihe 11) weichen von denen der Reihe 10) ab um $+0{,}13$ bzw. $+0{,}53$; $-0{,}30$ und $-1{,}19\,^0/_0$. Nach Formel 15) erhält man, wenn man die Zahlen von Reihe 10) nacheinander um $\delta y'_p = +1\,^0/_0$ verändert, eine Änderung von $c'_{2,p}$ um $-0{,}204 \cdot 10^{-4}$ bzw. $-0{,}950 \cdot 10^{-4}$; $-0{,}744 \cdot 10^{-4}$ und $+0{,}424 \cdot 10^{-4}$. Die Änderung des ersten Wertes in Reihe 10) um $+0{,}13\,^0/_0$ bewirkt eine Änderung $\delta c'_{2,p} = -0{,}13 \times 0{,}204 \cdot 10^{-4}$. Durch die gleichzeitige Änderung aller Zahlen dieser Reihe um 0,13 bzw. $+0{,}53\,^0/_0 \ldots$ wird c_2' von $2{,}38 \cdot 10^{-4}$ (Reihe 10a) um $\Sigma\delta c'_{2,p} = -0{,}81 \cdot 10^{-4}$ geändert auf $1{,}57 \cdot 10^{-4}$ (richtiger Wert $1{,}56^5 \cdot 10^{-4}$, Reihe 11a).

Die gesamten Butterfieldschen Messungen (Fall 1) bzw. die Messungen nach Ausschluß des Wertes beim höchsten Druck von 846 mm (Fall 2) ergeben $\beta_p' = -136$ bzw. -134 mm, und es entspricht einem $\delta y_p' = +1\,^0/_0$ betragenden Fehler in der Messung bei

	$\beta = -300$	-208	-170	-80	$+86$ mm	
der Fehler $\delta c'_{2,p}$	$= +0{,}_4077$	$-0{,}_4137$	$-0{,}_4186$	$-0{,}_4173$	$+0{,}_4372$	16)
bzw. „ „	$= +0{,}_4140$	$-0{,}_4220$	$-0{,}_4308$	$-0{,}_4291$		

Diese Zahlen zeigen also, daß ein bei einem Unterdruck begangener Fehler δy_p im Falle 2 einen etwa 1,7mal größeren Fehler $\delta c'_{2,p}$ als im Falle 1 erzeugt und daß ein beim Überdruck gemachter Fehler $\delta y_p'$ das Meßresultat relativ am stärksten beeinflußt.

Ein Vergleich der beobachteten oder genauer der aus der Kurve a abgelesenen Lichtstärken y' mit den berechneten führt zu der (rohen) Schätzung, daß die Werte y' für

	$b = 458$	462	552	588	592	680	680	846 mm	17)
um	$\delta y_p' = -1{,}7$	$+0{,}5$	$+0{,}7$	$+0{,}5$	$+1{,}5$	$-0{,}6$	0	$+2{,}7\,^0/_0$	

fehlerhaft sind. Unter dieser Annahme erhält man

Fall 1) $\quad c_2' = 2{,}15 \cdot 10^{-4}; \; c_2'' = 1{,}69 \cdot 10^{-6};$
$\delta_m = \pm 0{,}3\,^0/_0; \; \delta_{max} = +0{,}6\,^0/_0$ bei 846 mm; 18)

Fall 2) $\quad c_2' = 1{,}78 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 1{,}83 \cdot 10^{-6}; \quad \delta_m = \delta_{max} = 0.$ 18a)

Im Falle 2 ist also die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung eine vollkommene. Im Falle 1 bleibt noch ein Höchstbetrag $\delta_{max} = +0{,}6\,^0/_0$; erniedrigt man hier unter der Annahme, daß dies noch zulässig ist, den Wert y' für 846 mm weiter um $0{,}6\,^0/_0$, so findet man

Fall 1) $\quad c_2' = 1{,}93 \cdot 10^{-4}; \; c_2'' = 1{,}78 \cdot 10^{-4};$
$\delta_m = \pm 0{,}1\,^0/_0; \; \delta_{max} = +0{,}2\,^0/_0$ bei 846 mm, 18b)

mithin ebenfalls eine gute Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung.

Die Zahlen der drei Reihen 18, 18a, 18b, die natürlich auf größte Genauigkeit nicht Anspruch erheben können, zeigen, daß man durch Anbringung geeigneter Korrektionen der beobachteten y' zu relativ nahe beieinander liegenden Werten c_2'

gelangt, gleichgültig, ob man alle Werte y' oder nur die bei Unterdrucken in Rechnung zieht. Die unkorrigierten Werte y' führen dagegen zu den weit auseinander entfernten Werten

$$c_2' = 2{,}68 \cdot 10^{-4} \quad \text{und} \quad 0{,}99 \cdot 10^{-4} \quad \text{(Reihe 14 bzw. 14b)}.$$

Meine Messungen ergeben $\beta_p' = -106$ mm, ferner für $\beta = -100$ mm und $\delta y_p' = -1\,\%$ die Größe $\delta c_{2,p}' = 6{,}7 \cdot 10^{-5}$. Wäre bei den Messungen nur dieser eine Fehler gemacht, so würde sich $c_2' = 1{,}16 \cdot 10^{-4}$ ergeben. Einen solchen einseitigen Fehler halte ich aber dank des graphischen Ausgleiches für ausgeschlossen. Der Hauptfehler meiner Messungen scheint in der Unsicherheit von y_0 (Zahlenreihe 4) zu liegen. Wäre, was ich für sehr wahrscheinlich halte, y_0 nur um $0{,}5\,\%$ zu klein gemessen worden, so müßten die Lichtstärken für den Bereich der Unterdrucke um etwa diesen Betrag verkleinert werden, und man erhielte dann

$$c_2' = 1{,}22 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 2{,}03 \cdot 10^{-6}. \tag{19}$$

Falls y_0 um $1\,\%$ zu klein gemessen wäre, würde sich ergeben

$$c_2' = 1{,}96 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 1{,}79 \cdot 10^{-6}. \tag{19a}$$

Die Gleichung 9) gibt nach obigem die Beobachtungen von Boltzmann, Liebenthal, Butterfield innerhalb der Grenzen der Meßfehler gut wieder; auch die wenigen Messungen von Ott passen sich der Formel gut an. *Diese Gleichung kann deshalb im folgenden mit Sicherheit als brauchbar bezeichnet werden.*

Hieraus ergeben sich nachstehende Folgerungen:

Die als Funktion des Luftdruckes aufgetragene Kurve ist im Gegensatz zu den Kurven a (Butterfield) und d (Boltzmann) stetig gekrümmt, und zwar eine Kurve zweiten Grades.

Die von Butterfield und Boltzmann aus den geradlinigen Teilen der Kurven a und d abgeleiteten Werte $c_2 = 0{,}0004$ und $0{,}00043$ sind demnach unzutreffend.

Der theoretische Wert der Luftdruckkoeffizienten für $b = 760$ mm, den wir im folgenden zur Unterscheidung von den eben genannten Werten c_2 mit $[c_2]$ bezeichnen wollen, ist

$$[c_2] = \left(\frac{\partial y'}{\partial b}\right)_{b=760}, \tag{20}$$

demnach wegen Gleichung 9)

$$[c_2] = c_2'. \tag{20a}$$

6. Zusammenstellung der neueren Ergebnisse. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Ergebnisse der gesamten Rechnungen. In Spalte 2 bis 5 sind die Werte $10^4 \cdot c_2'$, $10^6 \cdot c_2''$, die entsprechenden Zahlenreihen und Luftdruckbereiche zusammengestellt, und zum Vergleich ist das 10^4fache der bereits in Tabelle 1 mitgeteilten Größen c_2 in Spalte 6 hinzugefügt.

Die aus meinen Messungen in der pneumatischen Kammer abgeleiteten Werte sollen wegen der Unzuverlässigkeit der Vergleichslampe bei der nachstehenden Diskussion außer Betracht bleiben. Ebenso können auch die aus den Ottschen Versuchen gefundenen Werte hier nicht mit herangezogen werden, da sie wegen zu geringer Anzahl der beobachteten Drucke, wie schon erwähnt, meiner Ansicht nach dem direkt errechneten Koeffizienten $c_2 = 0{,}00011$ an Genauigkeit nachstehen. Diese Zahlen sind deshalb eingeklammert.

Tabelle 2.

1	2	3	4	5	6
Beobachter	$10^4 \cdot c_2' = 10^4 \cdot [c_2]$	$10^6 \cdot c_2''$	Zahlenreihe Nr.	Luftdruckbereich in mm	$10^4 \cdot c_2$
[illegible]	(0,49)	(2,27)	12	768—518	1,1
	(1,22*)	(2,03*)	19	„	
Butterfield, Haldane und Trotter	2,68	1,49	14	846—458	4
	2,15*	1,69*	18	„	
	1,93*	1,78*	18b	„	
	0,99	2,13	14b	680—458	
	1,78*	1,83	18a	„	
[illegible]	(1,68)	(2,56)	13	816—614	1,1
	(1,45)	(1,88)	13a	„	
Boltzmann und Basch	2,38	1,39	10a	749—524	4,32
	1,56	1,93	11a	„	3,86

Die mit einem Stern versehenen Zahlen sind von mir durch Anbringung entsprechender Korrektionen abgeleitet.

Aus den Messungen von **Butterfield, Haldane** und **Trotter** ergibt sich als Höchstzahl des theoretischen Wertes des Luftdruckkoeffizienten $[c_2]$ 0,000 268, als Mindestzahl 0,0000 99, je nachdem man alle Messungen oder nur die bei Unterdrucken berücksichtigt. Der von mir errechnete Wert 0,000 268 ist also wesentlich kleiner als die von den drei Autoren angegebene Größe 0,0004 und stimmt gut mit der Zahl 0,00031 überein, welche sich aus der von mir verbesserten Kurve $a\,a'$ (Fig. 1) ergibt. Meiner Ansicht nach ist die Zahl 0,000268 zu groß, die Zahl 0,000 099 zu klein. Für richtiger halte ich die Zahlen 0,000 215 und 0,000 178, welche sich aus den auf Grund einer rohen Schätzung der Beobachtungsfehler korrigierten Lichtstärken ergeben, und als das Endergebnis der **Butterfield**schen Untersuchungen möchte ich den aus diesen beiden Zahlen berechneten, auf fünf Dezimalen abgerundeten Mittelwert bezeichnen, also

$$[c_2] = 0{,}000\,20 \text{ HK/mm}. \qquad 21)$$

Wenn man an Stelle von 0,000 215 die aus einer zweiten Korrektion der Lichtstärke für 846 mm gefundene Zahl 0,000 193 setzen würde, würde man als Endergebnis die nicht wesentlich kleinere Zahl 0,000 19 erhalten.

Aus den Messungen von **Boltzmann** und **Basch** findet man, je nachdem man die von ihnen oder mir ermittelten Koeffizienten c_1 und c_3 zugrunde legt, $[c_2] = 0{,}000\,238$ bzw. 0,000 156 gegenüber dem von ihnen gefundenen Wert $c_2 = 0{,}000\,43$ bezw. 0,000 39. Da ich den **Boltzmann**schen Koeffizienten $c_1 = 0{,}00\,336$ für zu klein, meine Zahl $c_1 = 0{,}0055$ für sehr nahezu richtig halte, behaupte ich, daß sich aus den österreichischen Beobachtungen die Größe ergibt

$$[c_2] = 0{,}00016 \text{ HK/mm}. \qquad 21\,a)$$

Wie ein Blick auf Tabelle 1 zeigt, fallen die aus den Versuchen von **Butterfield** und **Boltzmann** von mir errechneten Zahlen 21) und 21 a) noch in die Reihe der von mir, **Ott**, **Rosa**, **Paterson** ermittelten, zwischen 0,000 11 und 0,0002 liegenden vier Werte.

Sieht man die eben erwähnten sechs Beobachtungen als gleichwertig an und nimmt aus diesen das Mittel, so erhält man schließlich den Luftdruckkoeffizienten zu

$$\underline{c_2 = 0{,}000\,15 \text{ HK}/\text{mm}.} \qquad 22)$$

Ich halte den Wert 0,000 15 für der Wahrheit sehr nahe kommend. Es erscheint mir jedoch notwendig, daß noch weitere Messungen ausgeführt werden. Die Methode, welche Boltzmann und Basch mit großer Sorgfalt und Umsicht anwandten, nämlich die Änderung des Luftdruckes durch Aufsuchen verschiedener Höhenlagen herbeizuführen, erscheint mir als die beste. Leider aber haben beide Autoren an zu wenigen Orten gemessen; infolgedessen würde ein in Böckstein begangener Lichtstärkenfehler von nur 0,1 % bereits eine Änderung des Druckkoeffizienten um eine Einheit der fünften Dezimale veranlassen. Deshalb wird es zweckmäßig sein, nicht an vier Orten verschiedener Höhe, sondern an mehr Orten Beobachtungen anzustellen.

Als Endergebnis erhält man schließlich für Luftdrucke von etwa 800 bis 500 mm und für Messungen in reiner Luft an Stelle von Gleichung 3a)

$$\underline{y = 1 - 0{,}0055\,(x - 8{,}8) + c_2'\,(b - 760) - c_2''\,(b - 760)^2,} \qquad 23)$$

wo die Konstanten c_2' und c_2'' noch genauer zu bestimmen sind. Bei ungefährer Gültigkeit von $c_2' = 0{,}00015$ dürfte c_2'' in der Nähe von 0,0000019 liegen.

7. Allgemeine Bemerkungen. Boltzmann und Basch betonen mit Recht, daß der von ihnen mit meinen Werten c_1, c_2, c_3 abgeleitete — von mir als unzutreffend nachgewiesene — Wert $c_2 = 0{,}000386$ mit meinem Koeffizienten $c_2 = 0{,}00011$ in ausgesprochenem Widerspruch steht. Sie suchen aber diesen Widerspruch noch dadurch hervorzuheben, daß sie ihren Kurven *d* und *e* (Fig. 1 und 2) noch die der Gleichung 3a) für $x = 8{,}8$ l und den Druckbereich 760 bis 630 mm entsprechende Gerade hinzufügen und diese Gerade, welche nahezu mit den im Punkte *P* ($b = 760$; $y' = 1{,}00$) an die Kurven d_2 und e_2 (Abb. 2) gezogenen Tangenten zusammenfällt, als die nach dem „Einflußgesetz von Liebenthal" gültige Lichtstärkenkurve bezeichnen. Dieses Verfahren muß ich als vollständig unzulässig bezeichnen, weil dabei die für den Luftdruckbereich 735 bis 775 mm aufgestellte Gleichung 3a) einseitig um das Mehrfache dieses Geltungsbereiches extrapoliert wird.

Zu Anfang ihrer Arbeit deuten sie den Vorwurf an, daß ich mich bei der Bestimmung des der Hefnerkerze entsprechenden Normalwertes der Feuchtigkeit verrechnet hätte, da die Gleichung 3) $y = 1$ HK nicht für 8,8 l, sondern für 8,91 l ergebe. Sie haben aber übersehen, daß ich bei der Ableitung die in meiner Abhandlung angegebenen unabgerundeten Zahlen 1,0486 und 0,005 53 benutzte.

Zusammenfassung.

In der vorstehenden Untersuchung wurde zunächst gezeigt, daß man durch Verbesserung der Butterfieldschen Kurve *a* (Fig. 1) den Luftdruckkoeffizienten zu 0,000 31 (gegenüber 0,0004 oder genauer 0,000 43) erhält, und daß eine strengere Auswertung der Boltzmannschen Kurve *e* (Fig. 1) die Zahl 0,000 29 für das Gebiet 760 bis 749 mm (gegenüber 0,000 39 für das Gebiet 749 bis 669 mm) als Druckkoeffizienten ergibt.

Es wurde sodann eingehend nachgewiesen, daß man die sämtlichen Beobachtungen bei weit voneinander entfernten Drucken durch ein geeigneteres Verfahren, nämlich mittels einer quadratischen Relation zwischen Lichtstärke und Luft-

druck (Gleichung 9) auswerten müsse. Der Luftdruckkoeffizient für 760 mm ist mithin gleich der Größe c_2', d. h. dem Faktor von (b — 760) in Gleichung 9). Die Größe c_2' ergibt sich aus den Messungen von Butterfield, Haldane und Trotter zu 0,000 20 (gegenüber 0,0004) und aus denen von Boltzmann und Basch zu 0,000 16 (gegenüber 0,000 43). Die beiden Zahlen fallen noch in die Reihe der von Ott und mir mit 0,000 11, von Rosa mit 0,000 14 und von Paterson mit 0,0002 gefundenen Werte. Nimmt man aus den sechs Zahlen das Mittel, so findet man schließlich den Luftdruckkoeffizienten zu 0,000 15 HK/mm. Diesen Wert halte ich für der Wahrheit sehr nahekommend. Es erscheinen mir jedoch noch weitere Messungen, und zwar solche an möglichst vielen Orten verschiedener Höhe erforderlich. Zum Schlusse wird noch die Form der vollständigen Gleichung für die Lichtstärke der Hefnerlampe angegeben.

Eine neue Wage.

Von

Werner Braunbek in Stuttgart.

Vor kurzem wurde unter der Bezeichnung „Neigungswälzwage" eine neue Wage patentamtlich geschützt (D. R. P. 374 724; amerikanisches Patent angemeldet), die von einem neuen, im Wagenbau bisher noch nicht benützten Prinzip Gebrauch macht.

Die Wälzwage ist eine Zeigerwage, deren rückdrehendes Moment durch ein konstantes Gegengewicht bei veränderlichem Hebelarmverhältnis gebildet wird. Die Veränderung des Hebelarmverhältnisses wird aber nicht wie bei der Briefwage durch Anwendung eines Kniehebels, erzielt, sondern dadurch, daß sich der Drehpunkt eines geraden Wagebalkens bei dessen Drehung kontinuierlich verschiebt und so das Hebelarmverhältnis kontinuierlich ändert.

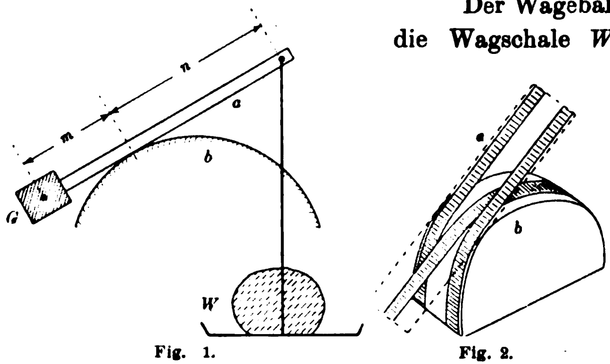


Fig. 1. Fig. 2.

Der Wagebalken a (Fig. 1), der an seinen Enden die Wagschale W und das Gegengewicht G trägt, liegt nämlich auf einer konvexen „Wälzbahn" b, auf der er sich ohne Gleiten abwälzen kann.

Die Möglichkeit des Gleitens wird durch gekreuzte Bänder oder Drähte (Fig. 2) ausgeschlossen, die den Wagbalken auf der Wälzbahn so festhalten, daß seine einzig mögliche Bewegung ein gleitungsfreies Abrollen ist.

Die Wirkungsweise der Wage ist nun die, daß beim Auflegen eines Gewichtes auf die Wagschale sich der Wagebalken so weit nach rechts dreht, bis das ursprüngliche Hebelarmverhältnis m/n, das dem Gewichtsverhältnis der leeren Wagschale zum Gegengewicht entsprach, sich auf den Wert m'/n' vergrößert hat, der dem Gewichtsverhältnis der belasteten Schale zum Gegengewicht entspricht. Der Wagebalken dreht sich mit steigender Belastung immer mehr nach rechts, das Hebelarmverhältnis m/n wird immer größer, die Wage immer weniger empfindlich. Darin liegt nun, neben der verhältnismäßig einfachen Konstruktion, der praktische Vorteil der Wage, denn man braucht bei großen Gewichten keine so große Absolutempfindlichkeit wie bei kleinen. Ist aber für irgendeinen Zweck eine untere Grenze für die Relativempfind-

lichkeit verlangt, so ist das verwertbare Meßbereich einer Wälzwage viel größer als das einer anderen Zeigerwage mit konstanter Absolutempfindlichkeit.

Die direkt beobachtbare Größe, aus der das Gewicht erschlossen wird, ist bei der Wälzwage wie bei anderen Zeigerwagen der Winkel φ, den der Wagbalken z. B. mit der Senkrechten bildet. Er kann direkt zur Ablesung verwendet werden, indem man z. B. ein am Wagbalken befestigtes Lot vor einer mit dem Wagbalken starr verbundenen Kreisteilung spielen läßt. Befestigt man jedoch einen Zeiger starr am Wagbalken, so sind die von dessen Ende zurückgelegten Wege nicht dem Winkel φ proportional. Denn da sich der Wagbalken nicht um eine feste, sondern um eine im Raum veränderliche Achse dreht, beschreibt das Zeigerende keinen Kreis, sondern eine Art Evolvente. Je länger der Zeiger ist, desto mehr nähert sich diese Evolventen-Skala einer kreisförmigen, deren Skalenteile ein direktes Maß für den Winkel φ sind. Es ist daher in den folgenden Berechnungen immer das aufgelegte Gewicht in Beziehung gesetzt zur Neigung φ des Wagebalkens, und nicht zur Bogenlänge irgendeiner, noch ganz von der Anbringung des Zeigers abhängigen Skala.

Im folgenden soll in kurzen Umrissen die Theorie der Wälzwage analytisch entwickelt werden.

Die Wälzbahn soll, was praktisch das einfachste ist, die Form eines Kreiszylinders vom Radius R haben. Die Wagbalkenlänge ist l; die Nullstellung sei charakterisiert durch m/n und φ_0. Das Gegengewicht hat das Gewicht G, die Wagschale das Gewicht W, und das aufgelegte Gewicht sei X. (S. Fig. 3.) Das Gewicht des Wagbalkens werde vernachlässigt. Dann ist im unbelasteten Zustand:

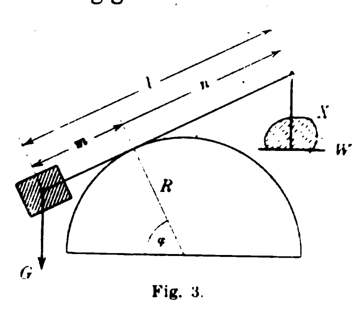


Fig. 3.

$$mG = nW, \tag{1}$$

im belasteten Zustand:

$$[m + R(\varphi - \varphi_0)]\,G = [n - R(\varphi - \varphi_0)]\,(X + W). \tag{2}$$

Davon 1) abgezogen gibt:

$$R(\varphi - \varphi_0)\,G = -R(\varphi - \varphi_0)(X + W) + nX,$$

$$R(\varphi - \varphi_0)(G + W + X) = nX = l\,\frac{G}{G + W}\,X,$$

$$\varphi - \varphi_0 = \frac{l}{R} \cdot \frac{GX}{(G + W)(G + W + X)}. \tag{3}$$

Durch Umkehr dieser Beziehung erhält man das aufgelegte Gewicht in Funktion der Neigung:

$$X = \frac{R(\varphi - \varphi_0)(G + W)^2}{lG - R(\varphi - \varphi_0)(G + W)}. \tag{4}$$

Durch Differentiation von 3) erhält man die Absolutempfindlichkeit:

$$\frac{d\varphi}{dX} = \frac{l}{R} \cdot \frac{G}{(G + W + X)^2} \tag{5}$$

und daraus die Relativempfindlichkeit:

$$\frac{d\varphi}{dX/X} = \frac{d\varphi}{d\,l_n X} = X\frac{d\varphi}{dX} = \frac{l}{R} \cdot \frac{GX}{(G + W + X)^2}. \tag{6}$$

dieses den normalen Luftdruck von 760 mm enthaltenden Bereiches würde demnach die Lichtstärke der Gleichung 5) **streng** genügen und sich für 1 mm Druckänderung nach **Butterfield** ändern um

$$c_2 = 0{,}0004 \text{ HK/mm};$$

der genauere Wert würde sein 0,000 43 HK/mm.

Die drei Beobachter weisen ferner darauf hin, daß sich meine in der pneumatischen Kammer gefundenen Werte der Kurve a ziemlich gut anschmiegen, fügen aber mit Recht hinzu, daß ich meine Messungen aus verschiedenen Gründen nicht für allzu genau gehalten habe. Ich habe auf Grund dieser Feststellung meine den Luftdruckbereich 768 bis 518 mm umfassenden Messungen mittels des sich aus Gleichung 3a) für $x = 10{,}6$ l und $b = 768$ mm ergebenden Wertes y_0 entsprechend reduziert und diese Zahlen graphisch aufgetragen (Kurve b).

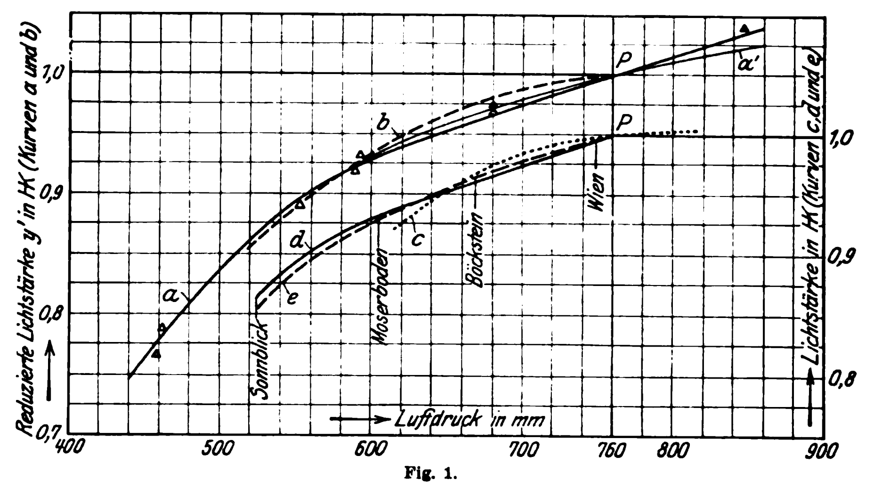


Fig. 1.
Kurven: a, a' Butterfield, b Liebenthal, c Ott, d und e Boltzmann und Basch.

Zu der Untersuchung der drei englischen Forscher ist zu bemerken, daß sie ihrer einzigen Beobachtung bei einem Drucke über 760 mm, nämlich bei 846 mm, augenscheinlich ein zu großes Gewicht gegenüber den beiden Messungen bei dem nächst kleineren Drucke von 680 mm beigelegt haben, da sie die Kurve a unterhalb der beiden Punkte, welche die Messungen bei 680 mm darstellen, vorüberführen. Demgemäß habe ich den im Bereiche 580 bis 860 mm liegenden Teil der Kurve a durch die Kurve a' ersetzt, welche mitten zwischen diesen beiden Punkten hindurch geht, und diese ergibt für Luftdrucke in der Nähe von 760 mm

$$c_2 = 0{,}000\,31 \text{ HK/mm}.$$

Diese Zahl stellt meiner Meinung nach die Butterfieldschen Versuche richtig dar.

Butterfield legte das Ergebnis seiner Arbeit der Internationalen Lichtmeßkommission im Jahre 1911 vor. Zur Aufklärung der bisherigen Unstimmigkeiten im Luftdruckkoeffizienten c_2 empfahl die Kommission weitere Messungen an verschieden hoch gelegenen Orten vorzunehmen.

b) **Ott**[1]) stellte solche Versuche an. Da diese aber wegen zu kleiner Arbeitsräume und aus anderen Gründen ergebnislos verliefen, griff er zu der Beobachtungs-

---

[1]) *Journ. f. Gasbel. u. Wasservers.* **58**. *S. 749. 1915.*

weise der drei englischen Forscher zurück, jedoch mit dem Unterschiede, daß dauernd drei Beobachter in der (16 m^3 großen) Druckkammer beschäftigt waren. Um die Beobachtungszeit zu verkürzen und dadurch die Luftverschlechterung möglichst zu verringern, maß er nur bei drei Drucken: 717 mm (dem ungefähren mittleren Luftdruck von Zürich), sowie bei 816 und 614 mm. Außerdem übte er die Vorsicht, bei der Wiederholung der Versuche die Reihenfolge der Drucke fortwährend zu ändern. Die Koeffizienten c_1 und c_3 wurden in demselben Raume bestimmt. Ott teilt das Ergebnis seiner Messungen in einer Kurve mit, in der die Lichtstärkenabnahme als Abszisse, der Luftdruck als Ordinate aufgetragen ist, in der die Lichtstärke für den höchsten Druck, also im Grunde genommen gleich 1 gesetzt ist. Ich habe nun aus dieser Kurve die Lichtstärken für eine Reihe von Drucken abgelesen, die für 760 mm gefundene als neue Einheit angenommen und aus den so umgerechneten Werten eine neue Kurve (Kurve *c*, Fig. 1) abgeleitet. Die Kurve *c* ist der größeren Deutlichkeit wegen zugleich mit den beiden noch zu besprechenden Kurven *d* und *e*, unter Verschiebung des Lichstärkenmaßstabes, getrennt von den Kurven *a* und *b* aufgezeichnet. Sie ist im oberen Teile verhältnismäßig schwach, im unteren verhältnismäßig stark gekrümmt. Demnach ändert sich die Lichtstärke zwischen 816 und 614 mm in keinem Bezirke streng linear mit dem Luftdruck *b*, wohl aber im Bereiche 816 bis 717 mm annähernd linear; d. h. es ist für diesen Bereich Gleichung 5) in bezug auf *b* annähernd erfüllt, und zwar ergibt sich hier c_2 als die durchschnittliche Lichtstärkenänderung auf 1 mm Druckänderung zu

$$c_2 = 0{,}000\,11 \text{ HK/mm}.$$

c) Boltzmann und Basch[1]) stellten, ebenfalls durch die Internationale Lichtmeßkommission angeregt, sehr umfangreiche und sorgfältige Messungen an Orten verschiedener Höhenlage an. Diese Orte waren Wien (165 m Meereshöhe; 748,5 mm mittlerer Luftdruck während der Messungen), Böckstein (1125 m; 668,8 mm), Moserboden (1965 m; 604,7 mm) und Sonnblick (3100 m; 523,5 mm). Der kleinste Arbeitsraum (auf dem Sonnblick) war 35 m^3 groß, also wesentlich größer als die pneumatischen Kammern, aber immerhin noch recht klein; leider aber stand hier ein größerer Raum nicht zur Verfügung. Unter Benutzung eines Satzes von Normallampen „zweiter und dritter Klasse", die am Anfang und nach Beendigung der Untersuchung an in Wien zurückgelassene Normallampen „erster Klasse" angeschlossen wurden, bestimmten sie für jede Station das Verhältnis der Lichtstärke y der Hefnerlampe zum Mittelwerte J_1 der Lichtstärken der Normallampen erster Klasse. Der Gang des Rechnungsverfahrens war nun, wenn wieder

y' die auf 8,8 l Feuchtigkeit und 0,75 l Kohlensäuregehalt reduzierte Lichtstärke bedeutet, der folgende. Sie berechneten aus dem für Wien gefundenen Werte y/J_1 mittels der durch einen besonderen Vorversuch in Wien ermittelten Koeffizienten

$$c_1 = 0{,}00\,336; \quad c_2 = 0{,}0004\,49; \quad c_3 = 0{,}0183$$

die Lichtstärke J_1, mit diesem Werte die nachstehenden Lichtstärken für

	Wien	Böckstein	Moserboden	Sonnblick	
$y' =$	0,9948	0,9603	0,9327	0,8628 HK	6)

und aus den für die drei unteren Stationen gefundenen Werten y' mittels der linearen Gleichung

$$y' = 1 + c_2(b - 760) \qquad 6^*)$$

[1]) l. c.

durch Auswertung nach der Methode der kleinsten Quadrate einen „verbesserten“ Wert

$$c_2 = 0{,}000434.$$

Sie wiederholten sodann mit diesem neuen Werte c_2 die Rechnung, fanden schließlich für die Stationen

	Wien	Böckstein	Moserboden	Sonnblick	
$y' =$	0,9951	0,9606	0,9329	0,8630 HK	6a)

und wieder aus den Werten für die unteren drei Stationen endgültig

$$c_2 = 0{,}000432 \text{ HK/mm}. \qquad 6\text{b})$$

Die beiden Autoren führten hierauf das stufenweise Rechnungsverfahren auch noch mit meinen Werten c_1, c_2, c_3 durch. Sie erhielten zunächst

$$y' = 0{,}9987 \qquad 0{,}9677 \qquad 0{,}9322 \qquad 0{,}8548 \text{ HK}; \qquad 7)$$

sie berechneten sodann den „verbesserten“ Wert c_2 als das Verhältnis des Unterschiedes in den Lichtstärken für Wien und Böckstein zu dem entsprechenden Druckunterschiede zu 0,000389, fanden mit diesem Werte schließlich

$$y' = 0{,}9955 \qquad 0{,}9647 \qquad 0{,}9293 \qquad 0{,}8521 \text{ HK} \qquad 7\text{a})$$

und wieder aus den beiden ersten Werten endgültig

$$c_2 = 0{,}000\,386 \text{ HK/mm}. \qquad 7\text{b})$$

Die Kurven *d* und *e* (Fig. 1) sind aus den Zahlenreihen 6a) und 7a) abgeleitet. Die Kurve *d* stellt mithin das aus dem gesamten Beobachtungsmaterial von Boltzmann und Basch ermittelte Ergebnis der Untersuchungen dar oder, wie die Verf. sich ausdrücken, das „Änderungsgesetz der Lichtstärke der Hefnerlampe bei geändertem Luftdruck“. Sie fällt fast genau mit dem entsprechenden Teile der Kurve *a* zusammen; sie verläuft also innerhalb des für die drei unteren Stationen geltenden Luftdruckbereiches 749 bis 605 mm nahezu geradlinig, und aus diesem Grunde benutzen die Verf. die für diese drei Stationen gefundenen Werte zur Berechnung von c_2.

Die mit meinen Werten c_1, c_3 gefundene Kurve *e* liegt im Bereich 760 bis 620 mm ein wenig oberhalb, sodann ein wenig unterhalb der Kurve *d*, ist aber im Gegensatz zu dieser stetig gekrümmt. Die aus der Zahlenreihe 7) abgeleitete Kurve e_0 (in Fig. 1 nicht angegeben) verläuft ein wenig oberhalb der Kurve *e* und praktisch parallel zu dieser.

Die Werte 0,000389 und 0,000386 bezeichnen, wie man sieht, die durchschnittliche Lichtstärkenänderung auf 1 mm Druckänderung in dem großen unterhalb 760 mm liegenden Gebiet 749 bis 669 (Wien-Böckstein). Sie sind wegen der Krümmung der Kurven e_0 und *e* aber — im Gegensatz zu der Annahme von Boltzmann und Basch — nicht identisch mit dem für die vorliegende Arbeit in Betracht kommenden Druckkoeffizienten c_2 für einen kleinen Bereich bei 760 mm. Vielmehr ergibt die Kurve e_0 durch graphische Auswertung $y' = 1{,}0020$ HK für $b = 760$ mm, demnach für den Bereich 760 bis 749 (genauer 748,5) mm $c_2 = 0{,}00029$. Führt man mit diesem verbesserten Wert den zweiten Teil der Rechnung durch, so erhält man schließlich

$$y' = 0{,}9967 \qquad 0{,}9658 \qquad 0{,}9303 \qquad 0{,}8530 \text{ HK}; \qquad 7\text{c})$$

daraus durch graphische Auswertung $y' = 1{,}0000$ für $b = 760$, mithin für den Bereich 760 bis 748,5 mm wieder

$$c_2 = 0{,}00029 \text{ HK/mm}. \qquad 7\text{d})$$

Dies ist mithin der Wert, der sich aus den Versuchen von Boltzmann und Basch mit meinen Werten c_1, c_2, c_3 ergibt, wenn man ihr eigenes Rechnungsverfahren streng durchführt.

3. Zusammenstellung der bisherigen Ergebnisse. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen, der Zeit der Veröffentlichung nach geordnet, zusammengestellt.

Tabelle 1.

Beobachter	Koeffizient des Feuchtigkeitsgehaltes c_1	des Kohlensäuregehaltes c_3	des Luftdruckes c_2
Liebenthal (1895)	0,0055	0,0072	0,00011
Paterson (1907)	0,0066	—	0,0002
Butterfield, Haldane und Trotter (1911)	0,00625	0,022	0,0004
Rosa und Crittenden (1914)	0,0056	—	0,00014
Ott (1915)	0,0062	0,033	0,00011
Boltzmann und Basch (1922)	0,00336	0,0183	0,000432 0,000386

Aus der zweiten Vertikalreihe ist ersichtlich, daß Boltzmann und Basch einen wesentlich kleineren Feuchtigkeitskoeffizienten c_1 als alle anderen finden. Unter Berücksichtigung des Umstandes, daß der von mir gefundene Wert zu keinem Widerspruch bei meinen späteren Messungen der Hefnerlampe führte und mit dem von Rosa und Crittenden aus mehrjährigen, sehr sorgfältigen Versuchen bei großen Feuchtigkeiten (bis zu 27 l) abgeleiteten nahezu übereinstimmt, halte ich meine Zahl für zuverlässig, dagegen die Wiener Zahl für entschieden viel zu klein. Übrigens geben die Verf. selbst zu, daß ihre Koeffizienten c_1, c_2, c_3 „etwas unzuverlässig" sind. Die Unterschiede in den Zahlenreihen 6a) und 7a) sind hauptsächlich durch die Abweichungen zwischen dem Boltzmannschen Werte c_1 und dem meinigen veranlaßt.

In der dritten Vertikalspalte sind die Koeffizienten des Kohlensäuregehaltes zusammengefaßt. Wie man sieht, erhalte ich wesentlich kleinere Werte als die anderen Beobachter. Was die diesbezüglichen Untersuchungen von Butterfield und von Ott anbelangt, rührt der Unterschied daher, daß diese zur Erzeugung der Kohlensäure die Luft durch Atmungs- und Verbrennungsprozesse absichtlich verschlechterten und die Wirkung der Verminderung des Sauerstoffgehaltes, obwohl sie auch diesen stets experimentell bestimmten, nicht in Rechnung stellten, also den Einfluß der Kohlensäurezunahme einschließlich der gleichzeitigen Sauerstoffabnahme ermittelten; es ist deshalb die Wirkung der Sauerstoffverminderung nicht immer rechnerisch ganz eliminiert worden. Da es sich bei den Untersuchungen der Reichsanstalt darum handelte, festzustellen, inwieweit die Schwankungen des Kohlensäuregehaltes in reiner Luft die Lichtstärke der Hefnerlampe beeinflußten, führte ich dagegen reine Kohlensäure in reine Luft ein.

Die letzte Vertikalspalte enthält endlich die Zahlenwerte des Luftdruckkoeffizienten c_2. Sie zeigt, daß sich hier, wie schon anfangs erwähnt wurde, die Beobachter in zwei Gruppen teilen. Nimmt man aus meinem Werte 0,00011 und den drei mit ihm relativ gut übereinstimmenden das Mittel, so erhält man die Zahl

$$c_2 = 0{,}000\,14 \text{ HK/mm}. \qquad 8)$$

4. Nachrechnungen meines eigenen Beobachtungsmateriales. Während ich früher, wie ich schon zu Anfang ausführte, erst die Zahl $c_1 = 0{,}00553$ und daraus die Zahl $c_2 = 0{,}00011$ ableitete, berechnete ich diese Konstanten jetzt gleichzeitig mittels der Formel

$$y = 1 - c_1 (x - 8{,}8) + c_2 (b - 760)$$

und erhielt in sehr guter Übereinstimmung mit den früheren Werten jetzt

$$c_1 = 0{,}00552; \quad c_2 = 0{,}00012.$$

Die Zahl 0,00553 schätze ich auf etwa 5 Einheiten der letzten Dezimale, die Zahl 0,00011 auf etwa 3 Einheiten der letzten Dezimale genau.

Der Wert $c_2 = 0{,}0004$ widerspricht entschieden meinen Messungen. Denn die Abweichungen zwischen den beobachteten und den nach Gleichung 1) berechneten Lichtstärken, demnach auch die auf gleiche Feuchtigkeit umgerechneten Lichtstärken schwanken um höchstens 1,8 %. Dagegen würden diese Lichtstärken, bei Gültigkeit des Wertes 0,0004, allein infolge der zwischen 735 und 775 mm liegenden Schwankungen des Luftdruckes um 1,6 %, unter Mitwirkung der unvermeidlichen Beobachtungsfehler um einen wesentlich höheren Betrag schwanken. Diesen schätze ich auf mindestens 3 %, unter der Annahme, daß sich die Hefnerlampe wie die 1-Kerzen-Pentanlampe verhält, deren Lichtstärke sich gerade um 0,04 % auf 1 mm Druckänderung (s. 1b) ändert.

Es wäre nun allerdings der Fall denkbar, daß bei den Versuchen in der Reichsanstalt ein vom Luftdruck abhängiger Vorgang (etwa die natürliche Ventilation) in der Weise mitgewirkt habe, daß dadurch die Lichtstärke bei steigendem Luftdruck etwas verringert, bei sinkendem etwas vergrößert wurde, so daß sich der direkte Einfluß des Luftdruckes nicht ganz geltend machte. Einen solchen fremden Einfluß konnte ich indes nicht feststellen. Da ich auch sonst keine Fehlerquellen zu entdecken vermochte, sehe ich keine Veranlassung, vor der etwaigen Festsetzung eines endgültigen Wertes für c_2 (vgl. Gleichung 22 und Bemerkungen dazu) vorläufig von der Berechnung der Lichtstärke nach der Formel 3a) abzugehen; denn die gegenwärtige Unsicherheit im Koeffizienten c_2 ist innerhalb des in Charlottenburg herrschenden Luftdruckbereiches nicht von großer Wichtigkeit, da der dadurch eingeführte Fehler innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler liegt.

5. Auswertung der Beobachtungen mittels einer quadratischen Beziehung. Die Kurve *d* von Boltzmann und Basch hat, ebenso wie die Kurve *a* von Butterfield, einen wenig einleuchtenden Verlauf, da sie sich aus einem geradlinigen und einem gekrümmten Teil zusammensetzt. Unter der Annahme einer einfachen Beziehung zwischen Lichtstärke und Luftdruck müßte die Kurve in ihrem ganzen Verlaufe entweder geradlinig oder gekrümmt sein. Boltzmann und Basch halten den gekrümmten Teil der Kurve *d* für unzuverlässig, mithin den geraden für einwandfrei, sie nehmen deshalb die Lichtstärke innerhalb des Luftdruckbereiches der drei unteren Stationen als eine lineare Funktion des Luftdruckes an und berechnen dementsprechend den Wert c_2 aus den Lichtstärken für diese drei Stationen. Als Grund für die Unzuverlässigkeit des gekrümmten Teiles geben sie an, daß sie auf dem Sonnblick bei der sehr niedrigen Temperatur von + 3,27°, auf den drei anderen Stationen bei normalen Temperaturen (im Mittel zwischen 17 und 19°) photometrierten. Andererseits aber müssen sie zugeben, daß nach den Untersuchungen von Butterfield, Haldane und Trotter, welche für den der Sonnblickhöhe entsprechenden Luftdruck bei normaler Zimmertemperatur nahezu die gleiche Licht-

stärke wie sie erhielten, auch bei weiteren Abweichungen der Temperatur von der normalen noch kein Einfluß der Lufttemperatur auf die Lichtstärke der Hefnerlampe erkennbar zu sein scheine. Nach meinen Messungen in den Jahren 1893 bis 1895 ist innerhalb der beobachteten Schwankungen zwischen 13 und 26° der Einfluß der Lufttemperatur, wenn ein solcher überhaupt vorhanden ist, so klein, daß er vollkommen zu vernachlässigen ist. Auch Rosa und Crittenden[1]) konnten innerhalb des gewöhnlichen Bereiches der Laboratoriumstemperaturen eine Abhängigkeit der Lichtstärke der Hefnerlampe[2]) von der Temperatur nicht nachweisen. Demnach wäre umgekehrt der geradlinige Teil von *d*, dessen Zustandekommen wohl einem Zusammentreffen von Zufälligkeiten, besonders beim Wiener Vorversuch, zuzuschreiben ist, nicht zuverlässig. Dagegen entspricht die ganze Kurve *e* der Anforderung stetig gekrümmt zu sein. Die Gestalt dieser Kurve, zu der die beiden Wiener Forscher kein großes Vertrauen zu haben scheinen, legte mir gleich von Anfang an die Vermutung nahe, daß man die gesamten Beobachtungen nicht mittels einer linearen, sondern mittels einer quadratischen Gleichung von der Form

$$y' = 1 + c_2'(b - 760) - c_2''(b - 760)^2 \qquad 9)$$

auswerten müsse.

Mittels dieser Relation erhält man aus den gesamten Messungen von Boltzmann und Basch, d. h. wenn man von der Zahlenreihe 6) ausgeht, nach Durchführung des stufenweisen Rechnungsverfahrens endgültig als Werte der reduzierten Lichtstärken für die vier Stationen (Wien, ...)

$$y' = 0{,}9968 \quad 0{,}9621 \quad 0{,}9344 \quad 0{,}8645\ \text{HK}; \qquad 10)$$

daraus

$$c_2' = 0{,}000238; \quad c_2'' = 0{,}00000139 \qquad 10\text{a})$$

und mit diesen beiden Faktoren aus Gleichung 9) die theoretischen Werte

$$[y'] = 0{,}9971 \quad 0{,}9667 \quad 0{,}9295 \quad 0{,}8659\ \text{HK}, \qquad 10\text{b})$$

demnach betragen die Abweichungen $\delta = y' - [y']$ oder anders ausgedrückt die „Meßfehler"

$$\delta = 0{,}0\,\% \quad -0{,}5\,\% \quad +0{,}5\,\% \quad -0{,}2\,\%.$$

Vergleichsweise sei hinzugefügt, daß bei den Versuchen in der Reichsanstalt die Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung nach Gleichung 1) im Mittel $\pm\,0{,}41\,\%$ betrugen. Die obigen Abweichungen δ sind demnach als verhältnismäßig klein zu bezeichnen.

Die Ausgleichung des Beobachtungsmaterials unter Benutzung der Reichsanstaltswerte c_1, c_2, c_3, also die Ausgleichung der Zahlen der Reihe 7) ergibt schließlich

$$y' = 0{,}9981 \quad 0{,}9672 \quad 0{,}9316 \quad 0{,}8542\ \text{HK} \qquad 11)$$

$$c_2' = 0{,}000156^5; \quad c_2'' = 0{,}00000193 \qquad 11\text{a})$$

$$[y'] = 0{,}9980 \quad 0{,}9697 \quad 0{,}9291 \quad 0{,}8550\ \text{HK} \qquad 11\text{b})$$

$$\delta = 0{,}0\,\% \quad -0{,}3\,\% \quad +0{,}3\,\% \quad -0{,}1\,\%,$$

also eine noch bessere Übereinstimmung zwischen y' und $[y']$ als vorher.

---

[1]) l. c. *S. 574.*

[2]) Dagegen fanden Rosa, Crittenden und Taylor neuerdings (*Journ. Opt. Soc. Amer.* 5. *S. 444. 1921*), daß die 10-Kerzen-Pentanlampe einen kleinen negativen Temperaturkoeffizienten (0,1 % Abnahme der Lichtstärke auf 1° Zunahme der Temperatur) besitzt.

Fig. 2 enthält das Ergebnis dieser Berechnungsweise. Die Kurven d_1 und e_1 sind aus den Zahlenreihen 10) und 11) abgeleitet; sie sind also die neuen „experimentellen“ Kurven, welche nunmehr an Stelle der Kurven *d* und *e* in Fig. 1 zu treten haben. Die Kurven d_2 und e_2, die aus den Zahlenwerten 10b) und 11b) gewonnen sind, stellen die „theoretischen“ Kurven dar. Zum Vergleich sind auch noch die Kurven *d, e* und *a* hinzugefügt.

Ich habe nun auch das übrige Beobachtungsmaterial in der gleichen Weise durchrechnet.

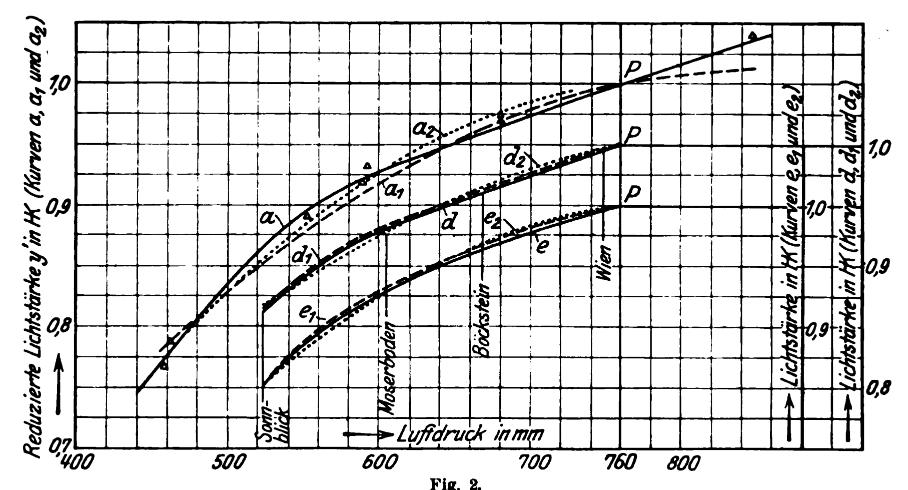


Fig. 2.
Kurven: *a* a_1, a_2 Butterfield, *d*, d_1, d_2 und *e*, e_1, e_2 Boltzmann und Basch.

Meine Messungen in der pneumatischen Kammer (Kurve *b*, Fig. 1) ergeben

$$c_2' = 0{,}49 \cdot 10^{-5}; \quad c_2'' = 2{,}27 \cdot 10^{-6} \qquad 12)$$

und die daraus abgeleiteten $[y']$ stimmen, obgleich es sich um sechs Zahlen handelt, mit den beobachteten y' bis auf $\pm 0{,}1\,^0/_0$ überein. Diese gute Übereinstimmung muß ich mit Rücksicht auf die Unsicherheit der Einzelmessungen als eine überraschende bezeichnen; ich vermag sie nur dem von mir vorgenommenen graphischen Ausgleich zuzuschreiben.

Ott hat sich allerdings nur auf drei Drucke beschränkt. Wenn man durch die den Beobachtungen entsprechenden drei Punkte eine Kurve zweiten Grades von der Form $y' = A + B(b - 760) - C(b - 760)^2$ hindurchlegt, so erhält man die Konstanten $A = 1{,}0027$; $B = 1{,}52 \cdot 10^{-4}$; $C = 2{,}81 \cdot 10^{-6}$, von denen B die Neigung der Kurve bei $b = 760$ mm angibt, demnach den Druckoeffizienten bei $b = 760$ m bezeichnet. Zwingt man diesen Punkten eine solche Kurve zweiten Grades auf, die durch den Punkt mit den Koordinaten $b = 760$; $y = 1{,}00$ (Punkt P der Kurve *c* in Fig. 1) hindurchgeht, d. h. verwertet man die Gleichung 9), so erhält man

$$c_2' = 1{,}68 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 2{,}56 \cdot 10^{-6} \qquad 13)$$

mit Abweichungen δ bis zu $0{,}3\,^0/_0$. Anscheinend ist die bei 614 mm gefundene Lichtstärke um rund $2\,^0/_0$ fehlerhaft; eine entsprechende Korrektion würde ergeben

$$c_2'' = 1{,}45 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 1{,}88 \cdot 10^{-6}. \qquad 13a)$$

Wegen der geringen Anzahl der gemessenen Drucke haben aber diese Koeffizienten ein geringeres Gewicht als der aus den Messungen bei 816 und 717 mm direkt errechnete Wert $c_2 = 0{,}00011$.

Im folgenden soll nun bedeuten:

δ_m und δ_{max} den Mittelwert bzw. den größten Wert von δ;

a_1 und a_2 theoretische Kurven in Fig. 2.

Die durch die kleinen Dreiecke (Kurve a, Fig. 1 und 2) gekennzeichneten Beobachtungen von Butterfield liefern

$$\left.\begin{array}{c} c_2' = 2{,}68 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 1{,}49 \cdot 10^{-6}; \\ \delta_m = \pm\, 1{,}7\,\%; \; \delta_{max} = +\, 2{,}7\,\% \text{ bei } 846 \text{ mm}; \; a_1. \end{array}\right\} \tag{14}$$

Bei der Bewertung der Abweichungen δ ist zu berücksichtigen, daß die relative Genauigkeit etwa 1,5 % betragen dürfte.

Anscheinend ist der bei 846 mm, dem einzigen Überdrucke, beobachtete Wert zu groß. Nimmt man statt dessen den berechneten, so ergibt sich

$$\left.\begin{array}{c} c_2' = 1{,}68 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 1{,}87 \cdot 10^{-6}; \\ \delta_m = \pm\, 1{,}0\,\%; \; \delta_{max} = -\, 1{,}7\,\% \text{ bei } 458 \text{ mm}. \end{array}\right\} \tag{14a}$$

Läßt man diese Messung ganz fort, beschränkt sich also auf das Gebiet der Unterdrucke, so findet man

$$\left.\begin{array}{c} c_2' = 0{,}99 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 2{,}13 \cdot 10^{-6}; \\ \delta_m = \pm\, 0{,}85\,\%; \; \delta_{max} = -\, 1{,}2\,\% \text{ bei } 458 \text{ mm}; \; a_2. \end{array}\right\} \tag{14b}$$

Durch Hinzufügung eines kubischen Gliedes in Gleichung 9) gewinnt man aus allen Messungen eine theoretische Kurve, welche sich nicht wesentlich besser an die Kurve a anschmiegt; denn es wird $\delta_m = \pm\, 0{,}9\,\%$, $\delta_{max} = +\, 1{,}9\,\%$ (bei 462 mm) und die Kurve hat insofern einen wenig wahrscheinlichen Verlauf, als sie bei etwa 790 mm einen Wendepunkt besitzt.

Ein ungefähres Urteil darüber, woher der große Unterschied der Werte c_2' und c_2'' in den Reihen 14) und 14b) herrührt, und was ihre wahrscheinlichen Werte sind, läßt sich nur auf Grund einer Fehlerschätzung gewinnen.

Genauigkeit von c_2'. Bedeuten

y_1', b_1; y_2', b_2; ...; y_p', b_p; ...; y_n', b_n die beobachteten Wertepaare;

c_2' den daraus nach der Methode der kleinsten Quadrate berechneten Koeffizienten von $(b - 760)$;

β die Differenz $(b - 760)$,

so entspricht einer Änderung von y_p' um $\delta y'_p$ eine Änderung von c_2' um

$$\delta c_{2,\,p}' = \delta y'_p \cdot \frac{\beta_p (\Sigma \beta^4 - \beta_p \Sigma \beta^3)}{\Sigma \beta^2 \cdot \Sigma \beta^4 - (\Sigma \beta^3)^2}, \tag{15}$$

wo über alle gemessenen β zu summieren ist.

Ein entsprechender Ausdruck gilt auch für $\delta c_{2,\,p}''$. Eine besondere Berechnung von $\delta c_{2,\,p}''$ ist jedoch überflüssig, da bei der Bestimmung des Luftdruckkoeffizienten für $b = 760$ mm c_2'' keine Rolle spielt (s. Gleichung 20a).

$\delta c_{2,\,p}'$ ist also das Produkt aus $\delta y'_p$ und einem Bruche, der eine quadratische Funktion des zugehörigen β_p ist. Diese Funktion ist in den vorliegenden Fällen für den größten Unterdruck β_p negativ, nimmt mit wachsendem β, also mit abnehmendem Unterdruck, stetig zu, wird für $\beta_p = \Sigma \beta^4 / \Sigma \beta^3$ gleich Null, erreicht für den Unterdruck

$$\beta_p' = \Sigma \beta^4 / 2\, \Sigma \beta^3$$

einen Maximalwert, wird für $\beta = 0$ wieder gleich Null, nimmt mit weiter wachsendem (nunmehr positivem) β weiter ab, und zwar im Falle der Butter-

fieldschen Untersuchungen derart, daß ihr absoluter Betrag für den größten Überdruck jenen Maximalwert noch überschreitet.

Die Versuche von Boltzmann und Basch ergeben

$$\Sigma\beta^2 = 88\,514; \quad \Sigma\beta^3 = -177{,}36 \times 10^5; \quad \Sigma\beta^4 = 37\,795 \times 10^5,$$

$$\text{demnach } \beta_p' = -107 \text{ mm.}$$

Der β_p' nächst gelegene Druck ist der in Böckstein gemessene — 91 mm. Eine Änderung der hier gefundenen Lichtstärke beeinflußt also das Resultat am stärksten. Die Zahlen der Reihe 11) weichen von denen der Reihe 10) ab um $+0{,}13$ bzw. $+0{,}53$; $-0{,}30$ und $-1{,}19\,^0/_0$. Nach Formel 15) erhält man, wenn man die Zahlen von Reihe 10) nacheinander um $\delta y'_p = +1\,^0/_0$ verändert, eine Änderung von $c'_{2,p}$ um $-0{,}204\cdot10^{-4}$ bzw. $-0{,}950\cdot10^{-4}$; $-0{,}744\cdot10^{-4}$ und $+0{,}424\cdot10^{-4}$. Die Änderung des ersten Wertes in Reihe 10) um $+0{,}13\,^0/_0$ bewirkt eine Änderung $\delta c'_{2,p} = -0{,}13 \times 0{,}204\cdot10^{-4}$. Durch die gleichzeitige Änderung aller Zahlen dieser Reihe um 0,13 bzw. $+0{,}53\,^0/_0$ . . . wird c_2' von $2{,}38\cdot10^{-4}$ (Reihe 10a) um $\Sigma\delta c'_{2,p} = -0{,}81\cdot10^{-4}$ geändert auf $1{,}57\cdot10^{-4}$ (richtiger Wert $1{,}56^5\cdot10^{-4}$, Reihe 11a).

Die gesamten Butterfieldschen Messungen (Fall 1) bzw. die Messungen nach Ausschluß des Wertes beim höchsten Druck von 846 mm (Fall 2) ergeben $\beta_p' = -136$ bzw. -134 mm, und es entspricht einem $\delta y_p' = +1\,^0/_0$ betragenden Fehler in der Messung bei

	$\beta = -300$	-208	-170	-80	$+86$ mm	
der Fehler	$\delta c'_{2,p} = +0{,}_4077$	$-0{,}_4137$	$-0{,}_4186$	$-0{,}_4173$	$+0{,}_4372$	16)
bzw.	„ „ $= +0{,}_4140$	$-0{,}_4220$	$-0{,}_4308$	$-0{,}_4291$		

Diese Zahlen zeigen also, daß ein bei einem Unterdruck begangener Fehler δy_p im Falle 2 einen etwa 1,7mal größeren Fehler $\delta c'_{2,p}$ als im Falle 1 erzeugt und daß ein beim Überdruck gemachter Fehler $\delta y_p'$ das Meßresultat relativ am stärksten beeinflußt.

Ein Vergleich der beobachteten oder genauer der aus der Kurve a abgelesenen Lichtstärken y' mit den berechneten führt zu der (rohen) Schätzung, daß die Werte y' für

	$b = 458$	462	552	588	592	680	680	846 mm	17)
um	$\delta y_p' = -1{,}7$	$+0{,}5$	$+0{,}7$	$+0{,}5$	$+1{,}5$	$-0{,}6$	0	$+2{,}7\,^0/_0$	

fehlerhaft sind. Unter dieser Annahme erhält man

Fall 1) $c_2' = 2{,}15\cdot10^{-4}$; $c_2'' = 1{,}69\cdot10^{-6}$; $\delta_m = \pm\,0{,}3\,^0/_0$; $\delta_{max} = +0{,}6\,^0/_0$ bei 846 mm; 18)

Fall 2) $c_2' = 1{,}78\cdot10^{-4}$; $c_2'' = 1{,}83\cdot10^{-6}$; $\delta_m = \delta_{max} = 0$. 18a)

Im Falle 2 ist also die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung eine vollkommene. Im Falle 1 bleibt noch ein Höchstbetrag $\delta_{max} = +0{,}6\,^0/_0$; erniedrigt man hier unter der Annahme, daß dies noch zulässig ist, den Wert y' für 846 mm weiter um $0{,}6\,^0/_0$, so findet man

Fall 1) $c_2' = 1{,}93\cdot10^{-4}$; $c_2'' = 1{,}78\cdot10^{-4}$; $\delta_m = \pm\,0{,}1\,^0/_0$; $\delta_{max} = +0{,}2\,^0/_0$ bei 846 mm, 18b)

mithin ebenfalls eine gute Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung.

Die Zahlen der drei Reihen 18, 18a, 18b, die natürlich auf größte Genauigkeit nicht Anspruch erheben können, zeigen, daß man durch Anbringung geeigneter Korrektionen der beobachteten y' zu relativ nahe beieinander liegenden Werten c_2'

gelangt, gleichgültig, ob man alle Werte y' oder nur die bei Unterdrucken in Rechnung zieht. Die unkorrigierten Werte y' führen dagegen zu den weit auseinander entfernten Werten

$$c_2' = 2{,}68 \cdot 10^{-4} \quad \text{und} \quad 0{,}99 \cdot 10^{-4} \quad \text{(Reihe 14 bzw. 14b).}$$

Meine Messungen ergeben $\beta_p' = -106$ mm, ferner für $\beta = -100$ mm und $\delta y_p' = -1\,^0/_0$ die Größe $\delta c_{2\,,p}' = 6{,}7 \cdot 10^{-5}$. Wäre bei den Messungen nur dieser eine Fehler gemacht, so würde sich $c_2' = 1{,}16 \cdot 10^{-4}$ ergeben. Einen solchen einseitigen Fehler halte ich aber dank des graphischen Ausgleiches für ausgeschlossen. Der Hauptfehler meiner Messungen scheint in der Unsicherheit von y_0 (Zahlenreihe 4) zu liegen. Wäre, was ich für sehr wahrscheinlich halte, y_0 nur um $0{,}5\,^0/_0$ zu klein gemessen worden, so müßten die Lichtstärken für den Bereich der Unterdrucke um etwa diesen Betrag verkleinert werden, und man erhielte dann

$$c_2' = 1{,}22 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 2{,}03 \cdot 10^{-6}. \tag{19}$$

Falls y_0 um $1\,^0/_0$ zu klein gemessen wäre, würde sich ergeben

$$c_2' = 1{,}96 \cdot 10^{-4}; \quad c_2'' = 1{,}79 \cdot 10^{-6}. \tag{19a}$$

Die Gleichung 9) gibt nach obigem die Beobachtungen von Boltzmann, Liebenthal, Butterfield innerhalb der Grenzen der Meßfehler gut wieder; auch die wenigen Messungen von Ott passen sich der Formel gut an. *Diese Gleichung kann deshalb im folgenden mit Sicherheit als brauchbar bezeichnet werden.*

Hieraus ergeben sich nachstehende Folgerungen:

Die als Funktion des Luftdruckes aufgetragene Kurve ist im Gegensatz zu den Kurven a (Butterfield) und d (Boltzmann) stetig gekrümmt, und zwar eine Kurve zweiten Grades.

Die von Butterfield und Boltzmann aus den geradlinigen Teilen der Kurven a und d abgeleiteten Werte $c_2 = 0{,}0004$ und $0{,}00043$ sind demnach unzutreffend.

Der theoretische Wert der Luftdruckkoeffizienten für $b = 760$ mm, den wir im folgenden zur Unterscheidung von den eben genannten Werten c_2 mit $[c_2]$ bezeichnen wollen, ist

$$[c_2] = \left(\frac{\partial y'}{\partial b}\right)_{b=760}, \tag{20}$$

demnach wegen Gleichung 9)

$$[c_2] = c_2'. \tag{20a}$$

6. Zusammenstellung der neueren Ergebnisse. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Ergebnisse der gesamten Rechnungen. In Spalte 2 bis 5 sind die Werte $10^4 \cdot c_2'$, $10^6 \cdot c_2''$, die entsprechenden Zahlenreihen und Luftdruckbereiche zusammengestellt, und zum Vergleich ist das 10^4fache der bereits in Tabelle 1 mitgeteilten Größen c_2 in Spalte 6 hinzugefügt.

Die aus meinen Messungen in der pneumatischen Kammer abgeleiteten Werte sollen wegen der Unzuverlässigkeit der Vergleichslampe bei der nachstehenden Diskussion außer Betracht bleiben. Ebenso können auch die aus den Ottschen Versuchen gefundenen Werte hier nicht mit herangezogen werden, da sie wegen zu geringer Anzahl der beobachteten Drucke, wie schon erwähnt, meiner Ansicht nach dem direkt errechneten Koeffizienten $c_2 = 0{,}00011$ an Genauigkeit nachstehen. Diese Zahlen sind deshalb eingeklammert.

Tabelle 2.

1	2	3	4	5	6
Beobachter	$10^4 \cdot c_2' = 10^4 \cdot [c_2]$	$10^6 \cdot c_2''$	Zahlenreihe Nr.	Luftdruckbereich in mm	$10^4 \cdot c_2$
Liebenthal	(0,49)	(2,27)	12	768—518	1,1
	(1,22*)	(2,03*)	19	„	
Butterfield, Haldane und Trotter	2,68	1,49	14	846—458	4
	2,15*	1,69*	18	„	
	1,93*	1,78*	18b	„	
	0,99	2,13	14b	680—458	
	1,78*	1,83	18a	„	
Ott	(1,68)	(2,56)	13	816—614	1,1
	(1,45)	(1,88)	13a	„	
Boltzmann und Basch	2,38	1,39	10a	749—524	4,32
	1,56	1,93	11a	„	3,86

Die mit einem Stern versehenen Zahlen sind von mir durch Anbringung entsprechender Korrektionen abgeleitet.

Aus den Messungen von Butterfield, Haldane und Trotter ergibt sich als Höchstzahl des theoretischen Wertes des Luftdruckkoeffizienten $[c_2]$ 0,000 268, als Mindestzahl 0,0000 99, je nachdem man alle Messungen oder nur die bei Unterdrucken berücksichtigt. Der von mir errechnete Wert 0,000268 ist also wesentlich kleiner als die von den drei Autoren angegebene Größe 0,0004 und stimmt gut mit der Zahl 0,00031 überein, welche sich aus der von mir verbesserten Kurve aa' (Fig. 1) ergibt. Meiner Ansicht nach ist die Zahl 0,000268 zu groß, die Zahl 0,000099 zu klein. Für richtiger halte ich die Zahlen 0,000 215 und 0,000 178, welche sich aus den auf Grund einer rohen Schätzung der Beobachtungsfehler korrigierten Lichtstärken ergeben, und als das Endergebnis der Butterfieldschen Untersuchungen möchte ich den aus diesen beiden Zahlen berechneten, auf fünf Dezimalen abgerundeten Mittelwert bezeichnen, also

$$[c_2] = 0{,}000\,20 \text{ HK/mm}. \qquad 21)$$

Wenn man an Stelle von 0,000 215 die aus einer zweiten Korrektion der Lichtstärke für 846 mm gefundene Zahl 0,000 193 setzen würde, würde man als Endergebnis die nicht wesentlich kleinere Zahl 0,000 19 erhalten.

Aus den Messungen von Boltzmann und Basch findet man, je nachdem man die von ihnen oder mir ermittelten Koeffizienten c_1 und c_3 zugrunde legt, $[c_2] = 0{,}000\,238$ bzw. 0,000 156 gegenüber dem von ihnen gefundenen Wert $c_2 = 0{,}000\,43$ bezw. 0,000 39. Da ich den Boltzmannschen Koeffizienten $c_1 = 0{,}00\,336$ für zu klein, meine Zahl $c_1 = 0{,}0055$ für sehr nahezu richtig halte, behaupte ich, daß sich aus den österreichischen Beobachtungen die Größe ergibt

$$[c_2] = 0{,}00016 \text{ HK/mm}. \qquad 21\text{a})$$

Wie ein Blick auf Tabelle 1 zeigt, fallen die aus den Versuchen von Butterfield und Boltzmann von mir errechneten Zahlen 21) und 21 a) noch in die Reihe der von mir, Ott, Rosa, Paterson ermittelten, zwischen 0,000 11 und 0,0002 liegenden vier Werte.

Sieht man die eben erwähnten sechs Beobachtungen als gleichwertig an und nimmt aus diesen das Mittel, so erhält man schließlich den Luftdruckkoeffizienten zu

$$\underline{c_2 = 0{,}000\,15 \text{ HK}/\text{mm}.} \qquad 22)$$

Ich halte den Wert 0,000 15 für der Wahrheit sehr nahe kommend. Es erscheint mir jedoch notwendig, daß noch weitere Messungen ausgeführt werden. Die Methode, welche Boltzmann und Basch mit großer Sorgfalt und Umsicht anwandten, nämlich die Änderung des Luftdruckes durch Aufsuchen verschiedener Höhenlagen herbeizuführen, erscheint mir als die beste. Leider aber haben beide Autoren an zu wenigen Orten gemessen; infolgedessen würde ein in Böckstein begangener Lichtstärkenfehler von nur 0,1 $^0/_0$ bereits eine Änderung des Druckkoeffizienten um eine Einheit der fünften Dezimale veranlassen. Deshalb wird es zweckmäßig sein, nicht an vier Orten verschiedener Höhe, sondern an mehr Orten Beobachtungen anzustellen.

Als Endergebnis erhält man schließlich für Luftdrucke von etwa 800 bis 500 mm und für Messungen in reiner Luft an Stelle von Gleichung 3a)

$$\underline{y = 1 - 0{,}0055\,(x - 8{,}8) + c_2'\,(b - 760) - c_2''\,(b - 760)^2,} \qquad 23)$$

wo die Konstanten c_2' und c_2'' noch genauer zu bestimmen sind. Bei ungefährer Gültigkeit von $c_2' = 0{,}000\,15$ dürfte c_2'' in der Nähe von 0,0000019 liegen.

7. Allgemeine Bemerkungen. Boltzmann und Basch betonen mit Recht, daß der von ihnen mit meinen Werten c_1, c_2, c_3 abgeleitete — von mir als unzutreffend nachgewiesene — Wert $c_2 = 0{,}000\,386$ mit meinem Koeffizienten $c_2 = 0{,}000\,11$ in ausgesprochenem Widerspruch steht. Sie suchen aber diesen Widerspruch noch dadurch hervorzuheben, daß sie ihren Kurven *d* und *e* (Fig. 1 und 2) noch die der Gleichung 3a) für $x = 8{,}8$ l und den Druckbereich 760 bis 630 mm entsprechende Gerade hinzufügen und diese Gerade, welche nahezu mit den im Punkte *P* ($b = 760$; $y' = 1{,}00$) an die Kurven d_2 und e_2 (Abb. 2) gezogenen Tangenten zusammenfällt, als die nach dem „Einflußgesetz von Liebenthal“ gültige Lichtstärkenkurve bezeichnen. Dieses Verfahren muß ich als vollständig unzulässig bezeichnen, weil dabei die für den Luftdruckbereich 735 bis 775 mm aufgestellte Gleichung 3a) einseitig um das Mehrfache dieses Geltungsbereiches extrapoliert wird.

Zu Anfang ihrer Arbeit deuten sie den Vorwurf an, daß ich mich bei der Bestimmung des der Hefnerkerze entsprechenden Normalwertes der Feuchtigkeit verrechnet hätte, da die Gleichung 3) $y = 1$ HK nicht für 8,8 l, sondern für 8,91 l ergebe. Sie haben aber übersehen, daß ich bei der Ableitung die in meiner Abhandlung angegebenen unabgerundeten Zahlen 1,0486 und 0,005 53 benutzte.

Zusammenfassung.

In der vorstehenden Untersuchung wurde zunächst gezeigt, daß man durch Verbesserung der Butterfieldschen Kurve *a* (Fig. 1) den Luftdruckkoeffizienten zu 0,000 31 (gegenüber 0,0004 oder genauer 0,000 43) erhält, und daß eine strengere Auswertung der Boltzmannschen Kurve *e* (Fig. 1) die Zahl 0,000 29 für das Gebiet 760 bis 749 mm (gegenüber 0,000 39 für das Gebiet 749 bis 669 mm) als Druckkoeffizienten ergibt.

Es wurde sodann eingehend nachgewiesen, daß man die sämtlichen Beobachtungen bei weit voneinander entfernten Drucken durch ein geeigneteres Verfahren, nämlich mittels einer quadratischen Relation zwischen Lichtstärke und Luft-

druck (Gleichung 9) auswerten müsse. Der Luftdruckkoeffizient für 760 mm ist mithin gleich der Größe c_2', d. h. dem Faktor von $(b - 760)$ in Gleichung 9). Die Größe c_2' ergibt sich aus den Messungen von Butterfield, Haldane und Trotter zu 0,000 20 (gegenüber 0,0004) und aus denen von Boltzmann und Basch zu 0,000 16 (gegenüber 0,000 43). Die beiden Zahlen fallen noch in die Reihe der von Ott und mir mit 0,000 11, von Rosa mit 0,000 14 und von Paterson mit 0,0002 gefundenen Werte. Nimmt man aus den sechs Zahlen das Mittel, so findet man schließlich den Luftdruckkoeffizienten zu 0,000 15 HK/mm. Diesen Wert halte ich für der Wahrheit sehr nahekommend. Es erscheinen mir jedoch noch weitere Messungen, und zwar solche an möglichst vielen Orten verschiedener Höhe erforderlich. Zum Schlusse wird noch die Form der vollständigen Gleichung für die Lichtstärke der Hefnerlampe angegeben.

Eine neue Wage.

Von
Werner Braunbek in Stuttgart.

Vor kurzem wurde unter der Bezeichnung „Neigungswälzwage" eine neue Wage patentamtlich geschützt (D. R. P. 374 724; amerikanisches Patent angemeldet), die von einem neuen, im Wagenbau bisher noch nicht benützten Prinzip Gebrauch macht.

Die Wälzwage ist eine Zeigerwage, deren rückdrehendes Moment durch ein konstantes Gegengewicht bei veränderlichem Hebelarmverhältnis gebildet wird. Die Veränderung des Hebelarmverhältnisses wird aber nicht wie bei der Briefwage durch Anwendung eines Kniehebels, erzielt, sondern dadurch, daß sich der Drehpunkt eines geraden Wagebalkens bei dessen Drehung kontinuierlich verschiebt und so das Hebelarmverhältnis kontinuierlich ändert.

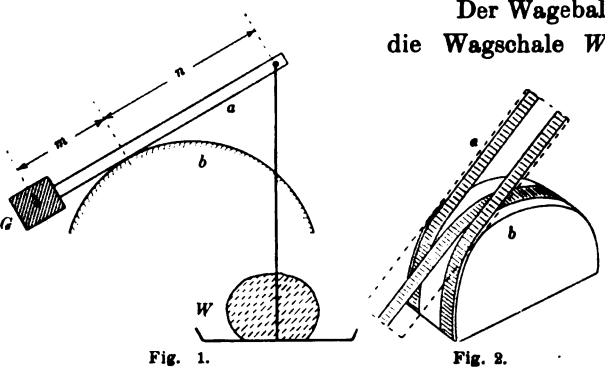


Fig. 1. Fig. 2.

Der Wagebalken *a* (Fig. 1), der an seinen Enden die Wagschale *W* und das Gegengewicht *G* trägt, liegt nämlich auf einer konvexen „Wälzbahn" *b*, auf der er sich ohne Gleiten abwälzen kann.

Die Möglichkeit des Gleitens wird durch gekreuzte Bänder oder Drähte (Fig. 2) ausgeschlossen, die den Wagbalken auf der Wälzbahn so festhalten, daß seine einzig mögliche Bewegung ein gleitungsfreies Abrollen ist.

Die Wirkungsweise der Wage ist nun die, daß beim Auflegen eines Gewichtes auf die Wagschale sich der Wagebalken so weit nach rechts dreht, bis das ursprüngliche Hebelarmverhältnis m/n, das dem Gewichtsverhältnis der leeren Wagschale zum Gegengewicht entsprach, sich auf den Wert m'/n' vergrößert hat, der dem Gewichtsverhältnis der belasteten Schale zum Gegengewicht entspricht. Der Wagebalken dreht sich mit steigender Belastung immer mehr nach rechts, das Hebelarmverhältnis m/n wird immer größer, die Wage immer weniger empfindlich. Darin liegt nun, neben der verhältnismäßig einfachen Konstruktion, der praktische Vorteil der Wage, denn man braucht bei großen Gewichten keine so große Absolutempfindlichkeit wie bei kleinen. Ist aber für irgendeinen Zweck eine untere Grenze für die Relativempfind-

lichkeit verlangt, so ist das verwertbare Meßbereich einer Wälzwage viel größer als das einer anderen Zeigerwage mit konstanter Absolutempfindlichkeit.

Die direkt beobachtbare Größe, aus der das Gewicht erschlossen wird, ist bei der Wälzwage wie bei anderen Zeigerwagen der Winkel φ, den der Wagbalken z. B. mit der Senkrechten bildet. Er kann direkt zur Ablesung verwendet werden, indem man z. B. ein am Wagbalken befestigtes Lot vor einer mit dem Wagbalken starr verbundenen Kreisteilung spielen läßt. Befestigt man jedoch einen Zeiger starr am Wagbalken, so sind die von dessen Ende zurückgelegten Wege nicht dem Winkel φ proportional. Denn da sich der Wagbalken nicht um eine feste, sondern um eine im Raum veränderliche Achse dreht, beschreibt das Zeigerende keinen Kreis, sondern eine Art Evolvente. Je länger der Zeiger ist, desto mehr nähert sich diese Evolventen-Skala einer kreisförmigen, deren Skalenteile ein direktes Maß für den Winkel φ sind. Es ist daher in den folgenden Berechnungen immer das aufgelegte Gewicht in Beziehung gesetzt zur Neigung φ des Wagebalkens, und nicht zur Bogenlänge irgendeiner, noch ganz von der Anbringung des Zeigers abhängigen Skala.

Im folgenden soll in kurzen Umrissen die Theorie der Wälzwage analytisch entwickelt werden.

Die Wälzbahn soll, was praktisch das einfachste ist, die Form eines Kreiszylinders vom Radius R haben. Die Wagbalkenlänge ist l; die Nullstellung sei charakterisiert durch m/n und φ_0. Das Gegengewicht hat das Gewicht G, die Wagschale das Gewicht W, und das aufgelegte Gewicht sei X. (S. Fig. 3.) Das Gewicht des Wagbalkens werde vernachlässigt. Dann ist im unbelasteten Zustand:

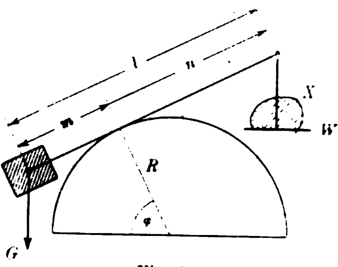


Fig. 3.

$$mG = nW, \tag{1}$$

im belasteten Zustand:

$$[m + R(\varphi - \varphi_0)]\,G = [n - R(\varphi - \varphi_0)]\,(X + W). \tag{2}$$

Davon 1) abgezogen gibt:

$$R(\varphi - \varphi_0)\,G = -R(\varphi - \varphi_0)(X + W) + nX,$$

$$R(\varphi - \varphi_0)(G + W + X) = nX = l\,\frac{G}{G + W}\,X,$$

$$\varphi - \varphi_0 = \frac{l}{R} \cdot \frac{GX}{(G + W)(G + W + X)}. \tag{3}$$

Durch Umkehr dieser Beziehung erhält man das aufgelegte Gewicht in Funktion der Neigung:

$$X = \frac{R(\varphi - \varphi_0)(G + W)^2}{lG - R(\varphi - \varphi_0)(G + W)}. \tag{4}$$

Durch Differentiation von 3) erhält man die Absolutempfindlichkeit:

$$\frac{d\varphi}{dX} = \frac{l}{R} \cdot \frac{G}{(G + W + X)^2} \tag{5}$$

und daraus die Relativempfindlichkeit:

$$\frac{d\varphi}{dX/X} = \frac{d\varphi}{dl_n X} = X\frac{d\varphi}{dX} = \frac{l}{R} \cdot \frac{GX}{(G + W + X)^2}. \tag{6}$$

Die Relativempfindlichkeit hat ein Maximum bei der Belastung $X = G + W$ von der Größe:

$$\left(\frac{d\varphi}{dX/X}\right)_{max} = \frac{l}{4R}\frac{G}{G+W}. \qquad 7)$$

Bei einer Wage mit konstanter Absolutempfindlichkeit, z. B. einer Federwage, wären die entsprechenden Formeln:

$$\varphi - \varphi_0 = kX, \qquad 3')$$

$$X = \frac{1}{k}(\varphi - \varphi_0), \qquad 4')$$

$$\frac{d\varphi}{dX} = k, \qquad 5')$$

$$\frac{d\varphi}{dX/X} = kX. \qquad 6')$$

Zur Veranschaulichung der Verhältnisse sind Winkel, Absolutempfindlichkeit und Relativempfindlichkeit in Funktion der Belastung in Fig. 4—6 graphisch aufgetragen, und zwar für eine Wälzwage (ausgezogen) mit $G = 500$ g, $W = 100$ g, $l/R = 2$, und zum Vergleich für eine Federwage (gestrichelt), deren k so gewählt ist, daß sie für $X = 500$ g dieselbe Empfindlichkeit hat wie die Wälzwage ($k = 0{,}00083$).

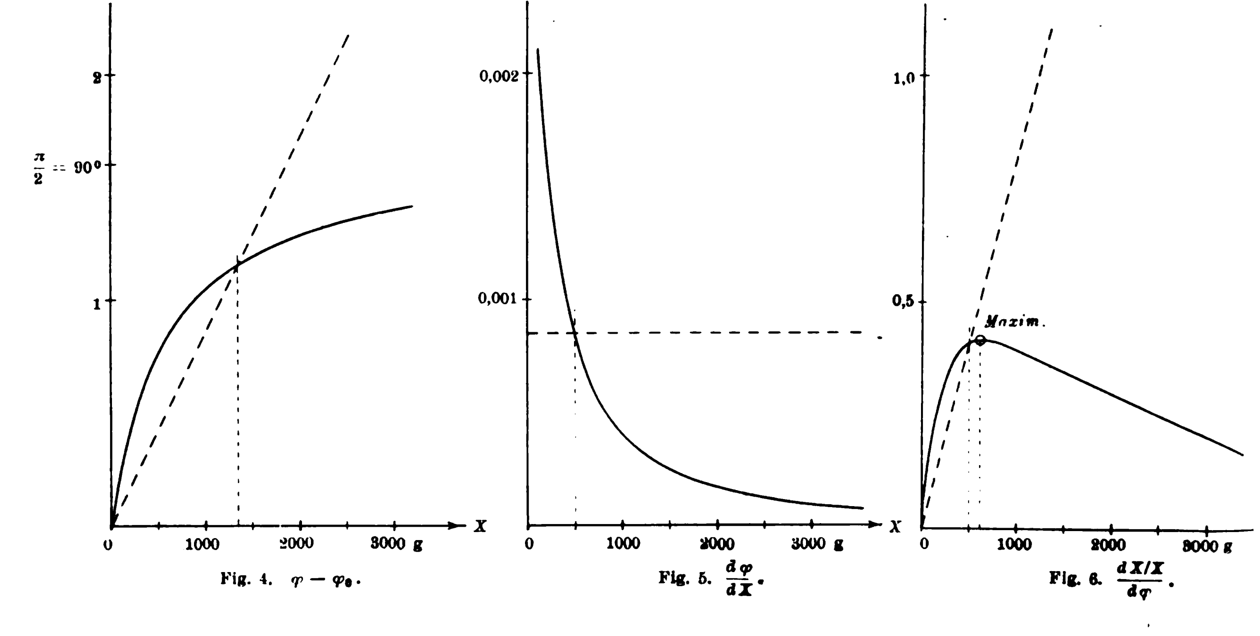


Fig. 4. $\varphi - \varphi_0$. Fig. 5. $\frac{d\varphi}{dX}$. Fig. 6. $\frac{dX/X}{d\varphi}$.

Man sieht aus den graphischen Darstellungen, daß bei gegebenem Skalenbereich das Meßbereich der Wälzwage sehr viel größer ist als das der Federwage, daß die Empfindlichkeit der Wälzwage unter 500 g größer, über 500 g kleiner ist als die der Federwage, und daß endlich die Relativempfindlichkeit der Wälzwage eine außerordentlich viel geringere Veränderlichkeit mit der Belastung zeigt als die der Federwage.

Man kann natürlich auch das Prinzip der Wälzwage mit dem der Federwage vereinigen, indem man an einem Ende des Wagbalkens statt des Gegengewichtes eine Feder anbringt. Dadurch kann das Meßbereich noch weiter ausgedehnt werden;

es muß aber dann der allen Federwagen anhaftende Nachteil des allmählichen Erlahmens der Feder mit in Kauf genommen werden, der bei der Wälzwage mit Gegengewicht wegfällt.

Statt der kreisförmigen Wälzbahn kann auch eine anders geformte benützt werden. Besonders interessant ist die Frage: Kann man der Wälzbahn eine solche Gestalt geben, daß die Relativempfindlichkeit der Wage konstant, d. h. ihre Skala logarithmisch wird?

Die Wälzbahn sei eine beliebige Kurve (Fig. 7), deren Bogenlänge von dem Punkt an gerechnet ist, der bei der Abwicklung des Wagebalkens (Länge 2a) mit dessen Mitte zusammenfällt (Nullpunkt des Koordinatensystems x, y).

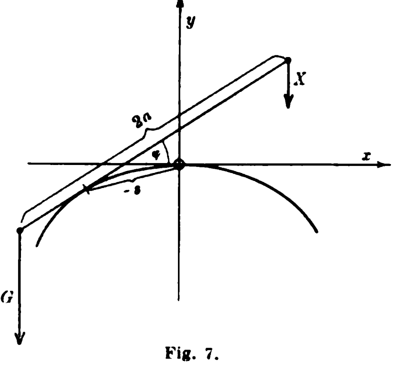


Fig. 7.

Vernachlässigt man das Gewicht der Wagschale, so muß sein:

$$G(a+s) = X(a-s),$$
$$X = G\frac{a+s}{a-s},$$
$$dX = G\frac{2a}{(a-s)^2}ds,$$
$$\frac{dX}{X} = \frac{2a}{a^2-s^2}ds.$$

Die Bedingung für konstante Relativempfindlichkeit ist:

$$d\varphi = -C\frac{dX}{X}$$

(φ Winkel der Kurventangente gegen die x-Achse), oder eingesetzt:

$$d\varphi = -\frac{2aC}{a^2-s^2}ds. \qquad 8)$$

Dies ist die Differentialgleichung der gesuchten Kurve. Da sie nur s^2 enthält, ist die Kurve symmetrisch zur y-Achse, falls man noch die Grenzbedingungen $y=0$ und $y'=0$ für $x=0$ einführt. Die Integration liefert:

$$\varphi = C\,l_n\frac{a-s}{a+s}. \qquad 9)$$

Um zu einer Parameterdarstellung in rechtwinkligen Koordinaten zu gelangen, faßt man die x-y-Ebene als komplexe Ebene auf und erhält die komplexe Koordinate irgendeines Kurvenpunktes durch das Linienintegral:

$$x+iy = \int_0^s e^{i\varphi}ds,$$

oder mit 9):

$$x+iy = \int_0^s \left(\frac{a-s}{a+s}\right)^{iC} ds. \qquad 10)$$

Die Ausführung des Integrals und Trennung des reellen und imaginären Bestandteils liefert x und y in Funktion des Parameters s.

Setzt man zur Abkürzung:

$$\frac{a-s}{a+s}=z,$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{z}{z+1}-C^2\left\{\frac{z}{1+C^2}-\frac{z^2}{4+C^2}+\frac{z^3}{9+C^2}-\dots\right\}&=\Phi(z)\\ \text{und}\qquad C\left\{\frac{z}{1+C^2}-\frac{2z^2}{4+C^2}+\frac{3z^3}{9+C^2}-\dots\right\}&=\Psi(z)\end{aligned}\right\}(s>0,\ z<1),$$

so ist das Resultat:

$$\begin{aligned}x&=\pm 2a\,\Phi(1)\mp 2a\,[\Phi(z)\cos(Cl_n z)+\Psi(z)\sin(Cl_n z)]\\ y&=-2a\,\Psi(1)+2a\,[\Psi(z)\cos(Cl_n z)-\Phi(z)\sin(Cl_n z)]\end{aligned}\qquad 11)$$

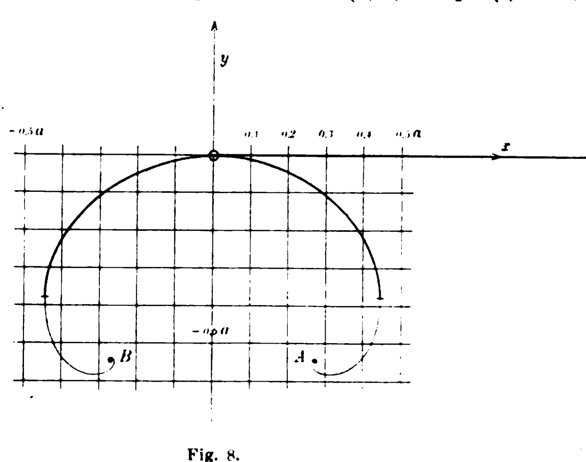


Fig. 8.

Die durch Gleichungen 11) dargestellte Kurve, die, als Wälzbahn einer Wälzwage benützt, dieser konstante Relativempfindlichkeit verleiht, ist in Fig. 8 für $C=1$ gezeichnet. Für die Wälzbahn verwertbar ist natürlich nur das stark gezogene Stück. Die beiden spiralförmigen Enden, die bei insgesamt endlicher Bogenlänge die Punkte A und B unendlich oft umschlingen, haben nur mathematisches Interesse.

Die höchstens verwertbare Bogenlänge $2\bar{s}$ erhält man aus 9) mit $\varphi=-\frac{\pi}{2}$ (erste senkrechte Tangente) zu:

$$\frac{a+\bar{s}}{a-\bar{s}}=e^{\frac{\pi}{2C}},$$

$$2\bar{s}=2a\,\frac{e^{\frac{\pi}{2C}}-1}{e^{\frac{\pi}{2C}}+1}.$$

Praktisch wird man natürlich immer die kreisförmige Wälzbahn benützen, die leicht herzustellen ist, und auch schon die Vorteile des neuen Prinzips zur Geltung bringt; aber es ist doch ganz interessant, daß es möglich ist, nach diesem Prinzip eine Wage mit logarithmischer Skala zu bauen.

Zwei neue Meßapparate.

Von
Dr. **Paul Duckert** in Berlin-Lichterfelde.
(Mitteilungen aus dem Bambergwerk der Askania-Werke A.-G., Berlin-Friedenau.)

Im folgenden soll auf Anregung von J. Hartmann (La Plata) hin auf einige Instrumente hingewiesen werden, die unter den Meßapparaten eine äußerst universelle Verwendungsmöglichkeit haben und daher wert sind, allgemein bekannt zu werden. Es sind dies ein mittleres Meßmikroskop und ein kleiner Universal-Meß- und Teilapparat. Beide Instrumente sind in den Askania-Werken aus einem tief empfundenen

Bedürfnis heraus nach kleinen Meßapparaten, sowohl für astronomische Zwecke und auch ganz allgemein für physikalische Meßlaboratorien durchgebildet und ausgeführt worden.

1. Mittleres Meßmikroskop.

Der größere der beiden Instrumententypen, das Meßmikroskop (s. Fig. 1), welches nach Vorschlägen von J. Hartmann durchkonstruiert wurde, trägt auf einem gußeisernen Fuß leicht kippbar angeordnet einen konsolartig geformten Körper, der auf der Oberfläche das eigentliche Meßmikroskop, auf der unteren Platte hingegen das Mikrometerwerk trägt. Es ist dies eine Mikrometerschraube von 50 mm nutzbarer Länge mit einer Ganghöhe von 0,5 mm. Die Schraube bewegt vermittels einer zweiteiligen Mutter einen absolut sicher parallel zur Schraube geführten Schlitten, der wieder den Objekttisch trägt. Die Höhe des Objekttisches selbst ist auf besonderen Wunsch von J. Hartmann äußerst gering und der Tisch selbst äußerst einfach gehalten worden, um etwaige Fehlerquellen möglichst auszuschalten. Auf diesem Objekttisch können die zu vermessenden Objekte, Photoplatten usw. mittels einer Messingleiste orientiert und mittels zweier Blattfedern befestigt werden. Um auch etwas abweichend von der durch die Leiste gegebenen Normalrichtung Messungen ausführen zu können, läßt sich mittels einer kleinen Positionsdrehung die Plattenauflage gegen den Mikrometerschlitten drehen. Die Notwendigkeit hierzu erweist sich sehr häufig bei kleinem zufälligen Schiefstehen der Photogramme gegenüber der Plattenkante. Die ganzen Umdrehungen der Mikrometerschraube sowie Bruchteile derselben lassen sich an zwei Trommeln mit gemeinsamem Index mittels Spiegel ablesen und zwar auf 0,005 mm direkt. Die Größe der Trommel ist dann außerdem so gewählt, daß man bei der an der Stirnseite angebrachten Teilung noch ein Zehntel Intervall bequem schätzen kann. Bei einer größeren Reihe von Einstellungen kann man also unter gewissen Umständen noch mit einer Genauigkeit von $\pm$ 0,0005 mm ablesen. Die Garantie für die dauernd unveränderte Einstellung des Nullpunktes gegenüber dem Mikroskoptubus übernimmt ein Gegengewicht, das mittels eines Fadens das zu einer Kugel gestaltete Ende der Mikrometerschraube gegen einen fest mit dem Mikrometerwerk

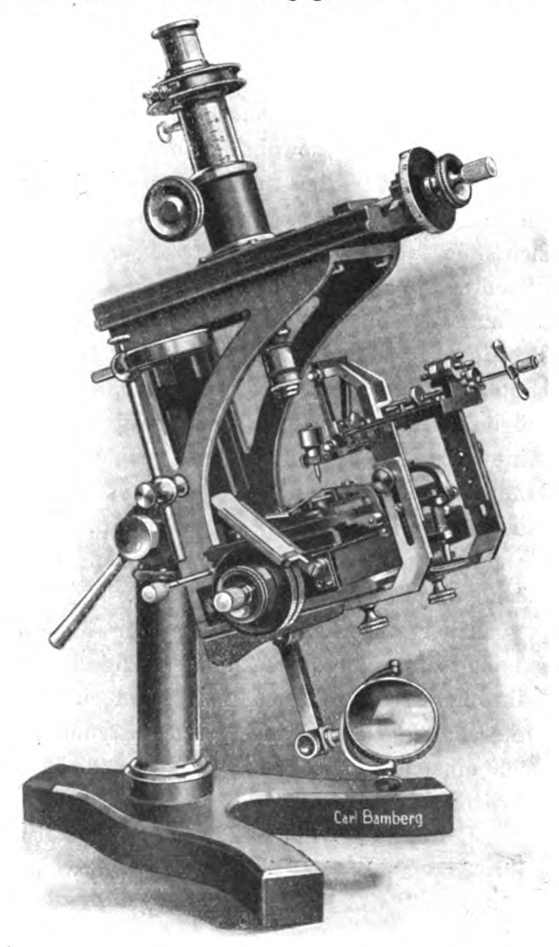


Fig. 1. Mittleres Meßmikroskop mit Teileinrichtung.

verbundenen harten Anschlag drückt. Unter dem Mikrometerwerk befindet sich noch ein einfacher Beleuchtungsspiegel.

Auf der oberen Platte des Konsols befindet sich ein zweites allerdings etwas einfacheres Mikrometerwerk, welches genau senkrecht zu der Bewegungsrichtung des unteren angeordnet ist. Hier besorgt die Bewegung des Schlittens eine Mikrometerschraube von 1 mm Ganghöhe. Die Ablesegenauigkeit ist daher nicht auf dieselbe Höhe getrieben, wie bei der Hauptschraube selbst, da diese Bewegung hauptsächlich zur Orientierung des Mikroskops Verwendung finden soll. Es ist aber ausdrücklich Wert darauf gelegt, daß man mit ihrer Hilfe auch genaue Messungen ausführen kann. Die Ablesegenauigkeit beträgt bei dieser zweiten Schraube mittels Trommel und Index ungefähr $\pm$ 0,001 mm. Der Schlitten dieses zweiten Mikrometerwerkes trägt das eigentliche Meßmikroskop. Es unterscheidet sich im wesentlichen nicht von einem gewöhnlichen Mikroskop, erwähnt sei nur, daß der mit Ablesung sowie Zahn und Trieb ausgestattete Tubus mit einer Einrichtung versehen ist, durch die man mittels zweier symmetrisch sich schließender grauen Glasplättchen das Gesichtsfeld rechteckig einengen und die Lichtfülle dämpfen kann. Dies wird vom Beobachter sehr angenehm empfunden und erhöht die Einstellsicherheit. Okular und Fadenkreuz sind um 90° drehbar angeordnet, um die Meßfäden in jeden beliebigen Positionswinkel bringen zu können. Die optische Ausrüstung besteht aus drei Mikroskopobjektiven und drei orthoskopischen Okularen. Die hiermit durch die neun möglichen Kombinationen erzielbaren Vergrößerungen liegen zwischen 9- und 125-fach. Eine stärkere Vergrößerung ist nicht angestrebt worden, da sie bei den hier in Frage kommenden Objekten zwecklos sein würde. Wie groß die Verwendungsmöglichkeit eines solchen Instrumentes sein kann, bedarf kaum der Erwähnung. Diese einfache Vereinigung von Mikroskop und Längenmeßapparat füllt jedenfalls eine erhebliche Lücke in jedem Laboratorium aus.

Über die Zuverlässigkeit der Meßschrauben werden bei allen Instrumenten genaue Schraubenuntersuchungen angestellt, da selbstverständlich nur eine erstklassige Mikrometerschraube dem Instrument einen gewissen Wert verleiht. Die diesbezüglichen Untersuchungen der gelieferten Instrumente haben bisher weder einen fortlaufenden noch einen periodischen Fehler konstatieren lassen, der die Einstellgenauigkeit überschritten hätte.

Erwähnt sei noch, daß eine Vorrichtung getroffen ist, die es gestattet, das Meßmikroskop auch als Teilapparat zu verwenden; und zwar geschieht dies mittels eines leicht auf dem Träger aufsetzbaren Reißerwerkes.

2. Universal-Meß- und Teilapparat (Toepfer).

Einen noch größeren Anwendungsbereich kann der zweite Typ erlangen, wenn er auch vorläufig nicht für denselben Genauigkeitsgrad eingerichtet ist. Es ist dies ein Instrument, welches dazu bestimmt ist, als Universalapparat zum Messen, Diaphragmen teilen, Spinnfäden aufziehen usw., für jedes Laboratorium zu dienen.

Auf dem Gestell 1 (Fig. 2a) aus Rotguß ruht ein Schlitten, der durch die Mikrometerschraube 2 von 30 mm nutzbarer Länge und 1 mm Ganghöhe sicher und leicht bewegt werden kann. Die Ablesung ist bei 100-teiliger Trommel auf 0,01 mm direkt, die Schätzung ziemlich genau auf 0,001 mm möglich. Dieser Schlitten trägt einen kleinen Positionskreis 3, der in ganze Grade eingeteilt ist. Die Ablesung desselben geschieht durch Schätzung auf $^1/_{10}{}^0$ mittels Indexstrich. Auf dem Positionskreishalter lassen sich nun die verschiedensten Apparateteile befestigen.

Seitlich am Untergestell ist ein Zylinder mittels Zahn und Trieb 7 verschiebbar angeordnet, auf dem ein Schätzmikroskop und auch wie wir unten sehen werden, andere Apparateteile aufgeklemmt werden können. In der normalen Verwendungsart

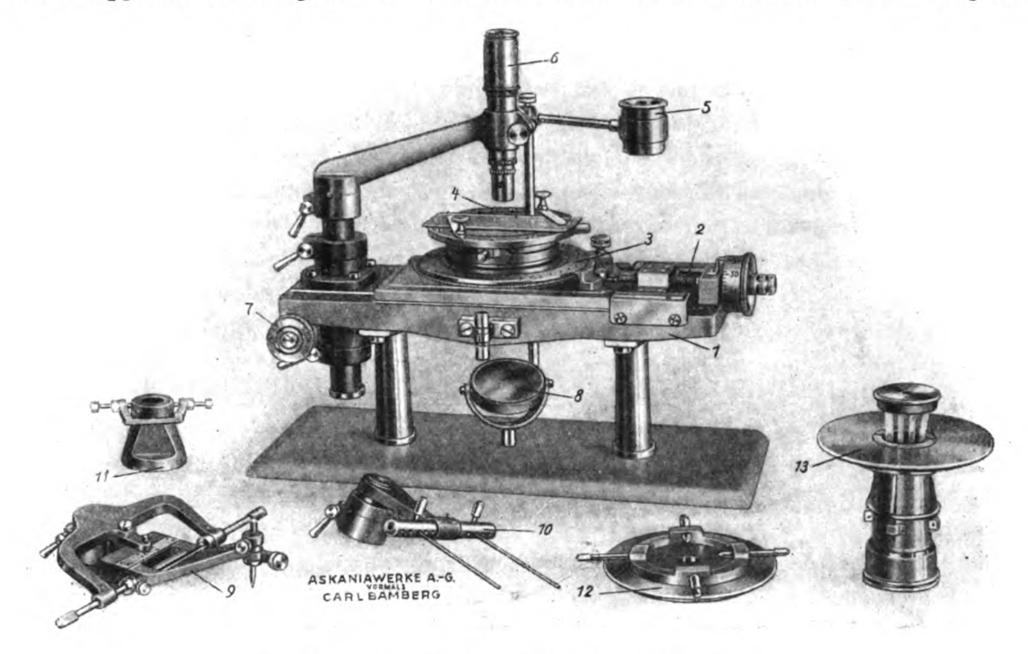
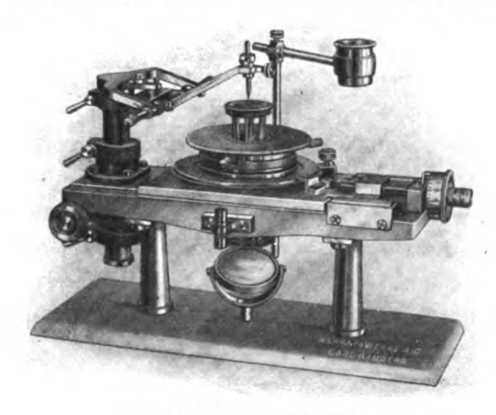


Fig. 2a. Universal-Teil- und Meßapparat (Meßvorrichtung).

als Meßapparat dient als Objekttisch eine vernickelte Messingplatte 4 mit Glaseinsatz, auf die man mittels zweier Blattfedern das Objekt aufklemmen kann. Des weiteren sind verschiedene anders geartete Objekthalter vorgesehen, z. B. ein Tisch 12 mit vier Klemmschrauben, der ein Diaphragma oder ähnliches einzupassen gestattet, oder



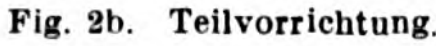


Fig. 2b. Teilvorrichtung.

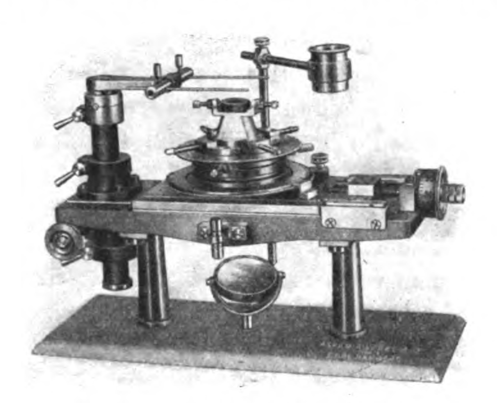


Fig. 2c. Aufziehapparat für Spinnefäden.

ein Klemmfutter 13, mit dessen Hilfe zu messende oder zu teilende Gegenstände mit verschieden starkem Durchmesser eingepaßt werden können usw. Auf dem Zylinder hingegen sind auswechselbar zu befestigen: Ein Reißerwerk 9 mit senkrecht zur Haupt-Schraubenrichtnng bewegbarem Stahlstichel oder Glasdiamanten und eine Aufziehvorrichtung für Spinnwebefäden 10. Zwei neigbare Nadeln mit Marken dienen zur Aufnahme des ausgebreiteten Spinnenkokons und können nun mittels des durch

Zahn und Trieb bewegbaren Zylinders langsam auf das Diaphragma, auf dem sie befestigt werden sollen, niedergelassen werden. Für die Betätigung des Reißerwerkes kann der Kolben dann ebenfalls nach Einstellung mittels zweier Klemmen fest und starr mit dem Objekttisch gekuppelt werden. Die beiden letztgenannten Verwendungsmöglichkeiten sind leicht aus Fig. 2b (Teilvorrichtung) und 2c (Aufziehapparat) ersichtlich. Ein Beleuchtungsspiegel, der unter dem Objekttisch angebracht ist, und eine schwenkbare sechsfach vergrößernde Lupe vervollständigen das kleine Instrumentarium.

Das Schätzmikroskop als solches hat eine optische Leistung, die für die hier vorkommenden Zwecke vollkommen ausreicht, die Vergrößerung ist ca. 40-fach, kann aber auf Wunsch auch beliebig anders geliefert werden. Die Meßschrauben sind wie bei dem großen Apparat genau gearbeitet.

Apparate zur Erforschung der Himmelspolarisation.

Von
Albert Hofmann in Mehlem am Rhein.

Einer Anregung von hochgeschätzter Seite nachkommend, möchte ich hier einige Instrumente einem weiteren Kreise bekannt geben, die bisher in unbeachtet gebliebenen Publikationen oder Berichten beschrieben waren.

1. Betrachtet man eine innen versilberte Gartenkugel mittelst eines Savartschen Polariskops bei klarem, wolkenlosem Himmel bei Tage, so erblickt man, wenn man die Sonne im Rücken hat und sie mit dem Kopfe abblendet, das Polarisationsbild des Himmels. Hält man dabei das Polariskop in der Normalstellung, so daß die Streifen dem Sonnenvertikal parallel laufen, so hat man über dem Kopfe des Beschauers den schwarzen Streifen in der Mitte und, soweit das Gebiet der positiven Polarisation reicht, die entsprechenden gefärbten Fransen. Diese Zone wird nach unten begrenzt von einer gebogenen Linie, in welcher das Gebiet der negativen Polarisation beginnt, in dem die Fransen genau in Zwischenräumen der oberen Fransenbilder überspringen. Nach unten springen die negativen Fransen in einer genau entsprechenden Kurve in das Gebiet der positiven Polarisation über. Da, wo die mittlere schwarze Linie endet, befindet sich das Spiegelbild des Babinetschen neutralen Punktes. Will man den unterhalb der Sonne liegenden anderen neutralen Punkt sehen, den Brewsterschen, so hat man nur nötig, durch eine kleine, an einem Stocke befestigte Scheibe von ca. 40 mm Dm., die etwa, je nach der Sonnenhöhe in 30—75 cm über den Kopf des Beobachters gehalten wird, die Sonne abzublenden und man erblickt so auch den unterhalb der Sonne liegenden Teil des Himmels im Spiegelbilde. Da, wo die untere schwarze Mittellinie des Polarisationsbildes unterhalb der Sonne endigt, befindet sich der Brewstersche neutrale Punkt.

2. Befestigt man eine solche Gartenkugel von ca. 15 cm Dm. an einem Ende eines Stabes von ca. 25—30 cm Länge in aufrechter Stellung und am andern Ende desselben ein Holzklötzchen mit zwei vertikalen Bohrungen, von denen die eine den Savart, die andere den Stock (oder Draht) mit der verschiebbaren Abblendung aufnimmt, so hat man einen handlichen Apparat zur Prüfung der Himmelspolarisation.

Dreht man dabei den Savart um 90°, so läuft die positive Fransenrichtung im Sonnenhorizonte.

Der Apparat erlaubt bei niedrig stehender Sonne auch den Aragoschen neutralen Punkt, etwa 18—20° oberhalb des antisolaren Ortes, zu erkennen, wobei man

sich am Abend östlich von der Kugel aufstellt und mit dieser die untergehende Sonne abblendet. Setzt man diese Beobachtung etwa 1 Stunde nach Sonnenuntergang fort, dann kann man unter Umständen auch den Ort des vierten neutralen Punktes, unterhalb des antisolaren Punktes gelegen, mit Leichtigkeit auffinden, besonders dann, wenn man, von einem höher gelegenen Punkte aus beobachtend, einen nicht zuviel Licht absorbierenden Hintergrund hat.

3. Eine schwarze Kugel, eine mit Asphalt im Innern überzogene dünne Glaskugel, ein Rundkolben z. B., zeigt die Himmelspolarisation nicht. —

4. Zum Studium der Drehung der Polarisationsebene im Sonnenvertikal, empfehle ich den Gebrauch eines vor 6 Jahren von mir konstruierten verbesserten Savartschen Polariskops. Es ist durch Vorschalten einer 2,5 mm dicken, senkrecht zur Hauptachse geschnittenen Kalkspatplatte gebildet.

Dies Polariskop gibt eine sehr regelmäßige, aber verwickelt gebildete Knotenfigur, die sich sofort empfindlich und leicht erkennbar ändert, wenn die Schwingungsebene des auffallenden polarisierten Lichtes nicht mit der seinigen übereinstimmt. Ein ungeübter Beobachter sieht sofort eine Drehung des Lichtes um $^1/_4{}^0$; ein Geübter kann mit Leichtigkeit eine Drehung von 5 Minuten, auch weniger, feststellen.

Behufs Messung der Drehung der Polarisationsebene des Himmels habe ich mein Polariskop auf dem einen Ende eines Quadranten aufgesteckt, der am andern Ende einen Diopterrahmen mit Fadenkreuz trägt. Der Quadrant ist auf einem horizontalen Teilkreise drehbar befestigt.

Der Gebrauch des Instrumentes erfordert keine Erläuterung. Der Quadrant wird in den Sonnenvertikal gebracht und die Höhenlage visiert, deren Drehung der Polarisationsebene festgestellt werden soll. Man verdreht das Polariskop mittelst einer Mikrometerschraube, bis die Polarisationsfigur wieder ganz regelmäßig (symmetrisch) erscheint und liest den Drehungswinkel auf dem Teilkreise des Polariskops ab. Mein Apparat erlaubt Ablesung von 1 Minute.

5. Benutzt man bei diesem Apparate ein einfaches Savartsches Polariskop, dann gestattet er die Bestimmung der Begrenzung der Polarisationsfiguren des Himmels[1]).

Zu dem Zwecke ist auch der Horizontalkreis drehbar und feststellbar einzurichten; man stellt ihn mit seinem Nullpunkt ins Sonnenvertikal und hat nun nach rechts und links den Quadranten so lange zu verdrehen, bis die Begrenzung der positiven und negativen Polarisationszone in der gewünschten Höhenlage erscheint, dieser Punkt wird abgelesen.

Beiliegende Tabelle zeigt, wie man auf einfache Weise die Daten aufzeichnen kann, um an ihrer Hand die Polarisationsfiguren des Himmels in ein Himmelsnetz eintragen zu können.

Die Himmelsregion zwischen Sonne und Zenit ergibt die sehr interessanten Schmetterlingsfiguren und die gegenüberliegende die Lage der sogenannten Zangen, aus denen man Schlüsse ziehen kann auf die zukünftige Wetterlage.

Das Instrument erlaubt ein so handliches Arbeiten, daß es nur je einer einmaligen Einstellung auf den Sonnenvertikal bedarf für jede der beiden Himmelshälften.

Ich gebe mich der Hoffnung hin, dieser sehr einfache Apparat möge recht vielen, an der Erforschung der Himmelspolarisation, Interessierten, Anregung geben dieser Art der Forschung ihre Tätigkeit zu widmen.

---

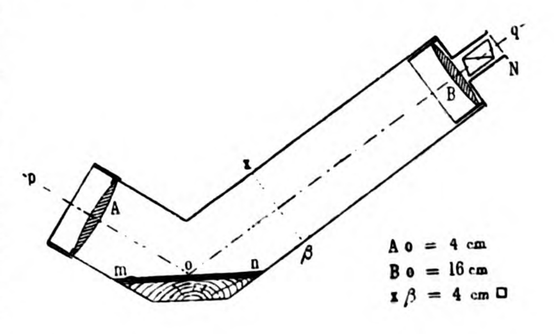
[1]) S. *Das Wetter. Monatsschr. f. Witterungskde. 1917. S. 133, 157, 197; 1918. S. 8, 144, 179.*

Ort: Dienststelle: $S =$ $l =$ $h =$ Beobachter: 1. = 2. =

Datum	Neutrale Linien links (Osten)										Neutrale Sonne Punkte	Neutrale Linien rechts (Westen)									
Zeit	Höhenwinkel			Azimut-Winkel															Höhenwinkel		
	50	20	horz.	160	140	120	90	50	40	20	0	20	40	60	90	120	140	160	horz.	20	50
	Azimutwinkel			Höhen-Winkel															Azimutwinkel		
											Bab. Sonne Brew. Arag.										
											Bab. Sonne Brew. Arag.										
											Bab. Sonne Brew. Arag.										

Zeit	Sonne	Bewölkung	Himmelsfärb.	Besondere Beobachtungen d. Himmelspolarisation

6.[1]) Bei meinen Studien der optischen Meteore unserer Sphäre hat mir in den letzten Jahren ein kleines Instrument wertvolle Dienste geleistet, welches fast mühelos herzustellen ist. Es besteht aus einem kleinen Planspiegel aus schwarzem Glase und zwei Brillengläsern in einfacher Pappfassung, die nach den Maßen der Skizze geklebt werden. Die Vorrichtung ermöglicht, jede Stelle des Himmels sofort unter dem Polarisationswinkel zu betrachten, was mit den auf den Stationen vorhandenen größeren schwarzen Spiegeln nur mit Mühe zu bewerkstelligen wäre.



Das Objektiv hat 35 mm Durchmesser und + 4 Dioptrien,
das Okular hat 15 mm Durchmesser und + 4 Dioptrien.

Auf letzteres kann bei Bedarf ein Nicol in einfacher Fassung aufgesteckt werden. Der Strahl p fällt unter dem Polarisationswinkel auf den Spiegel und wird unter demselben in der Richtung q reflektiert.

Für Anspruchsvollere können natürlich achromatische Linsen und Metallfassung eine bessere und solidere Ausführung geben, aber der Zweck des Instrumentes ist in der angegebenen einfachen Gestalt vollständig erreicht[2]).

[1]) S. *Meteorol. Zeitschr.* **40.** *S. 54. 1923.*

[2]) Will man das Instrument kürzer bauen, so hat man nur ein entsprechend stärkeres Okular zu wählen und das Okularrohr zu kürzen.

Das Instrument erlaubt jederzeit ohne Einstellung die zu betrachtende Zone mit einem Blicke zu erfassen, und da die Polarisationsebene gegeben, kann es durch veränderte Haltung, allen Anforderungen der meteorologischen Optik angepaßt, benutzt werden.

Bei der Beobachtung der Cirrusbildungen, besonders um die Sonne, bei der der Halos, der irisierenden Wolken — die weitaus häufiger durch das Instrument als bei irgendeiner anderen Beobachtungsart erkannt werden —, bei Untersuchung des Regenbogens usw. — sowohl bei Tage wie bei Nacht hat es mir ganz hervorragende Dienste geleistet.

Referate.

Eine Instrumentenfrage im Kriegsvermessungswesen.

Von P. Werkmeister. *Zeitschr. f. Verw.* ***51.*** *S. 610. 1922.*

Bemerkungen zum Bau geodätischer Instrumente.

Von demselben. *Ebenda* ***51.*** *S. 613. 1922.*

Von diesen zwei Notizen (aus 1920) hat die erste den Untertitel „Beschreibung eines von C. Sickler gebauten Tachymetertheodolits". Sie berichtet vom „Aufgreifen" des vom Verfasser 1916 für alle Arbeiten des Artillerievermessungsdienstes vorgeschlagenen Instruments durch den Führer der bayerischen Vermessungsabteilung; und die „Instrumentenfrage" hätte darin bestanden, daß die Wichtigkeit der Vereinheitlichung von den maßgebenden Stellen zu spät oder gar nicht begriffen worden sei. Die Bezeichnung dieses kleinen Tachymetertheodolits als Einheitsinstrument sei dann später von der preußischen Landesaufnahme „aufgegriffen" worden für den Hildebrandschen Einheitstheodolit. An dem Sicklerschen Instrument ist der verdeckte Grundkreis in $^1/_6{}^0$ geteilt („die Teilstriche gehen also von 10 zu 10 Minuten"), Ablesung durch ein Strichmikroskop auf 1′; Repetitionsvorrichtung fehlt, was gewiß kein Vorteil des Instruments ist; Höhenkreis nicht verdeckt mit derselben Teilung und Ablesung; Höhenlibelle 30″; Fernrohr 20fach, darauf Doppellibelle als Nivellierlibelle 20″). Die Gewichtsvergleichung zwischen dem Sicklerschen und Hildebrandschen Einheitsinstrument durch den Verfasser ist ohne Bedeutung, da er für das erste nicht einmal die Kreisdurchmesser (10 cm) angibt. Die vorstehenden Angaben genügen aber wohl, um zu zeigen, daß das Sicklersche Einheitsinstrument sich in keiner wesentlichen Einrichtung von den kleinen Strichmikroskop-Instrumenten anderer Firmen unterscheidet. Nebenbei bemerkt würde der Referent zwei Ablesevorrichtungen an den Kreisen von Instrumenten, die leicht Beschädigungen ausgesetzt sind, immer vorziehen, damit das Instrument bei Störung an der einen trotzdem nicht sofort unbrauchbar wird; wenn die zweite für bestimmte Zwecke nicht gebraucht wird, kann sie ja einfach und sicher ausgeschaltet werden. Eine neue Ausführung des Sicklerschen Instrumentchens, die neuerdings als S.-W.-Topometer ausgegeben wurde, hat die Repetitionsvorrichtung am Grundkreis eingeführt und ist sehr leicht, vielleicht zu leicht gebaut.

Bemerkt sei bei dieser Gelegenheit, daß Bestrebungen zu „Einheitsinstrumenten" für gewisse größere Gruppen von Vermessungsaufgaben ziemlich alt sind. Z. B. haben Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts Wegbau-Ingenieure der württembergischen Forstverwaltung durch Zimmer-Stuttgart kleine Tachymetertheodolite bauen lassen, die für ihre Zwecke das Einheitsinstrument (freilich ohne diesen schönen Namen) vorstellten, insbesondere das vorher übliche Mitführen eines besondern Nivelliers entbehrlich machten.

Die zweite Notiz befaßt sich fast ganz und zwar kritisch mit dem „Hildebrandschen Einheitstheodolit" (der übrigens 30″, nicht 20″ Ablesung gibt). Solche „Bemerkungen" von Benützern von Vermessungsinstrumenten sind stets willkommen; man hat sich in Deutschland daran gewöhnt, allzuviel von besondern Einrichtungen der Geräte bewährten Mechanikerfirmen zu überlassen. Es handelt sich bei jenen Wünschen freilich vielfach um Gewohnheiten der Urheber, während von anderen Seiten das genaue Gegenteil gewünscht wird.

Die Forderung einer Sucher-Zielvorrichtung an Theodolitfernrohren scheint mir nur einigermaßen berechtigt für Fernrohre mit sehr starker Vergrößerung und demnach kleinem Gesichtsfeld, während bei kleinern Fernrohren mit großem Gesichtsfeld mit der Hilfszielvorrichtung nur Zeit verloren geht. — Auch monokulare Fernrohre mit Dioptrieneinrichtung am Okular zu versehen, nur zur bequemern Aufsuchung der für ein bestimmtes Auge erforderlichen Entfernung Okularlupe-Fadenebene, wie es der Verfasser fordert, schien eine Zeitlang Mode werden zu wollen. Jetzt hört man schon selten mehr von der Forderung, und mit Recht; schon weil nicht zu vergessen, daß auch für ein bestimmtes Auge bei Beseitigung der Fadenparallaxe die Beleuchtung eine Rolle spielt.

Den Schutzring für die Richtschrauben des Fadenkreuzes mag sich anbringen lassen, wer ihn nötig zu haben glaubt. — Die Frage Kreuzlibelle contra Dosenlibelle zur genäherten Horizontierung, die der Verfasser kurzerhand durchaus zugunsten der Dosenlibelle entscheidet, ist bekanntlich lebhaft umstritten und nicht ohne Grund; schon deshalb, weil meist gar zu grobe Dosenlibellen (4′ bis 5′) gebraucht werden, während in den Kreuzlibellen der Teilwert kaum $>$ 1′ oder $1^1/_2$′ gewählt wird. Auch wird die Abneigung vieler Anfänger gegen die Dosenlibelle verständlich durch die Klage über die „Schwierigkeit“ ihrer Berichtigung; er jagt dabei die Libellenblase mit Fußschrauben und Richtschrauben ergebnislos im Kreis herum, bis er endlich darauf verfällt, die Stehachse seines Theodolits oder Nivelliers mit Hilfe der so einfach zu berichtigenden einen festen Alhidaden-Röhrenlibelle (oder der zwei festen Libellen der „Kreuzlibelle“) ordentlich vertikal zu stellen und dann einfach die Dosenlibelle mit ihren Korrektionsschrauben danach zu richten. Das Hin- und Herdrehen der Alhidade, das bei nur einer festen Alhidadenlibelle notwendig ist, wird durch eine Kreuzlibelle so gut wie durch eine Dosenlibelle überflüssig gemacht, und es hat wenig zu sagen, daß die Alhidadenstellung bei der Dosenlibelle ganz beliebig, bei der Kreuzlibelle durch die Lage der zwei Röhrenlibellen zu den Fußschrauben einigermaßen vorgeschrieben ist. Im ganzen neige ich zu der Ansicht, daß zur „allgemeinen“ Horizontierung eines Nivelliers die Dosenlibelle von nicht zu geringer Empfindlichkeit nicht fehlen sollte, daß aber bei Theodoliten, besonders falls wegen meist ganz geringer Neigungen der Zielungen die Verwendung einer feinern Röhrenlibelle (fester Alhidadenlibelle oder Kippachsensetzlibelle) gar nicht mehr notwendig ist, nicht einfach gesagt werden kann, die Dosenlibelle sei der Kreuzlibelle vorzuziehen. — Eine Dosenlibelle auf Stativteller zu setzen, wie es früher oft geschah, wird sich hoffentlich auch für schwerere Instrumente nicht wieder einführen, wenn auch der Verfasser darin einen Vorzug der Sicklerschen Stative erblickt[1]).

Von der $^1/_4{}^0$-Teilung, die Hildebrand beim Einheitstheodolit wieder angewandt hat (wie früher auch vielfach bei Instrumenten mit 20″ Nonienalablesung) bin ich, ebenso wie der Verfasser, kein Freund.

Eine Bemerkung, die ich schon lange gelegentlich machen wollte, mag hier angeführt sein. Zur Vermeidung der Gefahr von Vorzeichenfehlern bei kleinen Höhenwinkeln scheint mir mindestens ebenso wichtig, wie das Durchlaufen der Gradbezifferung bis 360° (a. T.), daß neben dem Strich 0 = 360° und zwar zu beiden Seiten des Striches je auch ein die Richtung der fortschreitenden Bezifferung angebender Pfeil gesetzt wird, da sonst ebenso leicht als das Vorzeichenversehen an sich der Fehler der Verwechslung von 359° mit 1°, 358° mit 2° begangen wird. Für den Nonius als Ablesemittel endlich (— der bekanntlich im allgemeinen viel besser, besonders viel genauer ist als sein Ruf —) sei noch darauf hingewiesen, daß man nicht zu ängstlich auf möglichste Kürze drängen, z. B. nicht unbedingt verlangen sollte, daß bei Stellung der Ableselupe über der Mitte das Nonius dessen ganze Länge übersehen werden kann; schon der Anfänger muß dazu an-

---

[1]) „Die Sicklerschen Stative besitzen eine solche Dosenlibelle“ . . . (*S. 615*). Nebenbei gesagt, wie machen sie denn das? Eine Dosenlibelle kann auf einen Stativteller gesetzt werden und besitzt damit diesen Teller. Aber kann in der Tat ein Theodolit seine Libellen „besitzen“ (*S. 613, 614*) oder ein Fernrohr eine Klemme und eine Mikrometerschraube „besitzen“ (*S. 612*) oder ein Kreis seine Schutzdecke (*S. 612*) usw.? Sollten wir in der Tat immer ärmer an sinngetreuen Zeitwörtern werden?

gehalten werden, die Ablesung am Nonius nach der Stellung des Indexstrichs auf 1′ zu schätzen um dann bei der Nonienablesung nicht den ganzen Nonius mit der Lupe abzusuchen, sondern bis auf wenige Striche genau sogleich an die Ablesestelle gehen zu können. Damit sind auch ziemlich lange Nonien wenig zu fürchten. *Hammer.*

Die Genauigkeit der Feinmeßbänder aus Stahl.

Von K. Lüdemann. *Allgem. Vermess. Nachr.* **34.** *S. 595. 620. 651. 1922.*

Der Mitarbeiter der geodätischen Werkstätten von Hildebrand-Freiberg (Sachsen) gibt hier eine eingehende und auch die Literatur des Gegenstandes sorgfältig berücksichtigende Beurteilung von Präzisionsmeßbändern aus Stahl von 10 m, 20 m, 30 m, 50 m Länge; längere Bänder, wie sie zu markscheiderischen Teufenmessungen verwendet werden, bleiben ausgeschlossen. Erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit ist dem Feldmeßband (mit einem Querschnitt 16 bis 28 mm $\times$ 0,2 bis 0,6 mm), das seit etwa 50 Jahren bei uns neben den älteren und auch heute noch verwendeten Latten die Meßkette ganz verdrängt hat, das Feinmeßband (mit schmälerem Querschnitt von 10 bis 12 mm $\times$ 0,3 bis 0,4 mm) aus besserem Werkstoff mit feinerer Teilung und feinern Anreihevorrichtungen zur Seite getreten, bei Messungen über Tag hauptsächlich für Stadtmessungen, bei Grubenmessungen zur Herstellung der Hauptrisse der Grubenbaue verwendet.

Als Stoffe für die Hildebrandschen Meßbänder führt der Verfasser besonders drei Stahlsorten auf: für weitaus die meisten Bänder ein gehärteter weißer Uhrfederbandstahl besonderer Zusammensetzung; dann, seit 1920 für Bänder, bei denen chemische Einflüsse neben großer Feuchtigkeit in Betracht kommen (wie in Grubenbauen) einer gegen Rost äußerst sicherer Chromnickelstahl von Krupp; endlich, seit 1922 Nickelstahl (36 v. H. Ni, Invar- oder sog. Indilatansstahl von Krupp mit dem Wärmeausdehnungskoeffizienten von $0{,}6 \cdot 10^{-6}$, bei dem eine Temperaturänderung von 50° die Länge des 50 m-Bandes erst um $1\frac{1}{2}$ mm ändert. Als Bezugstemperatur metallener Längenmeßgeräte ist vom Normenausschuß der deutschen Industrie 1917 bekanntlich + 20° C eingeführt worden und es scheint, daß diese Bezugstemperatur + 20° auch für geodätische Zwecke die bisher meist übliche von + 18° C schon jetzt ziemlich allgemein verdrängt hat. Als Normal-Spannung beim Gebrauch von Feinmeßbändern gilt die durch Spannungsmesser festzuhaltende von 10 kg.

Besonders wichtig ist der letzte Abschnitt des Verfassers, die *Teilungsfehler* der Feinmeßbänder betreffend, weil seine Ergebnisse ermöglichen, wirtschaftlich zweckmäßige Fehlergrenzen für solche Meßbänder aufzustellen. Er teilt in seinen Tabellen 8. bis 12. die Ergebnisse der Untersuchung aller von Januar 1919 bis Juni 1920 von einer *staatlichen* Untersuchungsbehörde geprüften Hildebrandschen Feinmeßbänder (13 an der Zahl: 1 10 m-, 4 20 m-, 6 30 m-, 2 50 m-Bänder; die Zahl ist also ein sehr kleiner Teil aller gelieferten Bänder überhaupt) ausführlich mit. Die Fehler f_g der ganzen Länge, ermittelt aus der Gleichung:

$$L = L' + f_g + \alpha\,(18^0 - t^0) + \beta'\,(10 - P)^{kg},$$

in der L' die Sollänge, L die augenblickliche Länge, 18° und 10 kg Bezugstemperatur und Bezugsspannung, t^0 und P kg die augenblickliche Temperatur und augenblickliche Spannung, α den Wärme- und β' den Spannungs-Dehnungskoeffizienten bezeichnen, schwanken für diese 13 Bänder (10 bis 50 m lang, s. oben) zwischen den Beträgen + 0,1 bis + 1,4 mm (sie sind alle +); auf die Länge 10 m reduziert gibt dies Zahlen zwischen + 0,0 und 0,4 mm, mit dem Mittelwert $f_{g_{10}} = +\,0{,}25$ mm. Auch die Teilungsfehler (für die einzelnen Zwischenzeichen der Bänder) sind alle recht klein. Die Firma Hildebrand selbst stellt keine Prüfungszeugnisse für ihre Feinmeßbänder aus, und die Tabelle 13 des Verfassers mit Gegenüberstellung der Prüfungszahlen der Reichsanstalt für Maß und Gewicht und einiger feinmechanischer Werkstätten für zwei 20 m-Bänder zeigt, daß Grund für jene Ablehnung vorliegt in der Schwierigkeit der Bestimmung von t für die ganze Bandlänge, wie von α und von β': die Zahlen für die Fehler der 1 m-Zwischenmarken nach beiden Bestimmungen an jedem der zwei Bänder weichen mehrfach um bis zu 0,3 mm voneinander ab.

Die Festsetzung zulässiger Fehlergrenzen und sonstiger Normen für die Feinmeßbänder wie für die gewöhnlichen Meßbänder denkt sich der Verfasser durch einen Ausschuß aus Vertretern der Messungspraxis über und unter Tag, ferner der Werkstätten oder auch durch den „Beirat“ für das Vermessungswesen ausgeführt; er selbst will demnächst Vorschläge zu solchen Bestimmungen vorlegen. *Hammer.*

Nouveau Système de Photogrammetrie: Le Stéréotopomètre.

Von J. Predhumeau. *Revue d'optique*, *1.* *S. 313*, *1922.*

Eine französische Erfindung mit der ausgesprochenen Absicht den Vorsprung einzuholen, den wir Deutsche auf dem Gebiete der Stereophotogrammetrie haben. Aufnahmegerät ist eine auf das Fernrohr eines Theodolites aufgesetzte kleine Stereokammer mit Plattenformat 7 × 13 cm und 66 mm Brennweite. Die beiden Plattenhälften werden nacheinander, auf jedem Standpunkt eine andere, belichtet. Im Stereotopometer wird für die Auswertung eine hell leuchtende Marke durch die mit Vorsatzlinsen versehenen Objektive der Aufnahmekammer auf das Negativ abgebildet und werden die beiden Negativhälften durch ein Stereoskop betrachtet. Die leuchtende Marke gibt den Ort des Objektes in einem Maßstab = Distanz der Objektive : wahre Basislänge. Die Marke wird polar geführt und ist zur Erzielung eines gewünschten Maßstabes mit einem Pantograph gekuppelt.

Der Stereotopometer gestattet nur den Normalfall der Stereophotogrammetrie zu verarbeiten. Der Autor gibt zwar Andeutungen, wie er sich eine Erweiterung für den Verschwenkungsfall denkt, doch sind seine Vorschläge unausführbar und würden auch nicht zum beabsichtigten Ergebnis führen. Außerdem besteht auf dieser Konstruktionsgrundlage keine Möglichkeit den Konvergenzfall auszuarbeiten, ja überhaupt auch nur kleine Konvergenzfehler zu berichtigen.

Der Erfinder schreibt: „Auf diese Weise erhält man mit Hilfe eines sehr billigen Apparates viel schneller Resultate als mit dem Tachymeter und auch sehr viel genauer als mit dem v. Orelschen Stereoautograph“. Als Beispiel ist eine Aufnahme vom Lac de Pormenaz ausgearbeitet, die einen Ausschnitt des gleichen Geländes gibt, das 1912 durch die Stereographik-Wien aufgenommen war und durch P. Corbin in der Revue générale des sciences, Heft 6 vom 30. März 1914 publiziert ist. Der Vergleich zeigt im Maßstab 1 : 1000 Höhenfehler von 2 bis 3 m zu Ungunsten des Stereotopometers. Es ist ja auch reichlich naiv, mit einer so primitiven Einrichtung und nur 66 mm Brennweite Präzisionsarbeit leisten zu wollen. Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß die Erfindung nicht originell ist, sondern denselben Grundgedanken hat wie der Stereoplast der Firma Zeiss (D.R.P. Nr. 276261 vom 28. XII. 1912). Die Erweiterungsvorschläge des Erfinders sind die des D.R.P. Nr. 284772 vom 4. IV. 1914. *O. v. Gruber.*

Einäugiges und zweiäugiges Sehen.

Von Chr. v. Hofe. *Zeitschr. f. wissensch. Photogr.* *21.* *S. 206.* *1922.*

Der Verf. bringt eine gemeinverständliche Darstellung des Sehens mit zwei Augen. Durch Sehen mit zwei Augen tritt zu dem perspektivischen Sehen die Wahrnehmung der Tiefe. Auch gelangt mehr Licht in den Sehapparat bei zwei Augen als bei nur einem. Namentlich in der Dämmerung wird die Bildhelligkeit und die Sehschärfe besser. Bei mangelhafter Beleuchtung wird man z. B. mit zwei Augen eine Noniusablesung besser ausführen können als mit einem.

Zur Vergrößerung des Auflösungsvermögens werden die Augen mit Fernrohren oder Mikroskopen bewaffnet. Im Verhältnis der Vergrößerung wird der Gegenstand näher gerückt. Die plastische Wirkung wird erhöht, wenn der Augenabstand künstlich vergrößert wird. Dieses geschieht mit Hilfe des Spiegeltelestereoskops von Helmholtz. Während dieses Instrument, das die Vergrößerung 1 hat, eine vollkommene Modellähnlichkeit aufrechterhält, geht diese verloren bei den Stangen- und Scherenfernrohren, da hier das Bild quer zur Sehrichtung proportional der Vergrößerungszahl vergrößert wird, in der Längsrichtung dagegen eine Verkleinerung proportional dieser Zahl erfolgt. Dasselbe gilt für die stereoskopische Betrachtung von photographisch aufgenommenen Stereoskopbildern, da das Aufnahmeobjektiv zusammen mit der Betrachtungslinse gewissermaßen wie ein Fernrohr wirkt, nur daß beide nicht gleichzeitig, sondern nacheinander in Wirkung treten.

Der Verf. verbreitet sich dann über die verschiedenen Methoden, stereoskopische Bilder herzustellen und zu betrachten. Er betont es als begreiflich, daß die holländische Regierung s. Zt. von dem Erfinder Lippershey des holländischen (galiläischen) Fernrohres verlangte, daß er dasselbe für zweiäugigen Gebrauch herstelle, und bedauert, daß dem großen Aufschwung, den

das steroskopische Sehen in der Mitte des vorigen Jahrhunderts genommen hatte, ein vollkommener Niedergang gefolgt ist. Er fordert deshalb alle mit photographischen Aufnahmen beschäftigten Personen auf, sich wieder mehr mit stereoskopischen Aufnahmen zu befassen, und zwar sowohl im ästhetischen als im wissenschaftlichen und technischen Interesse. *H. Krüss.*

Über die Abhängigkeit der Lichtstärke der Hefnerlampe vom Luftdruck.

Von Arthur Boltzmann und Alfred Basch. *Sitzungsber. d. Wiener Akad. IIa.* ***131.*** *S. 57. 1922*

Während die Besprechung des Hauptinhaltes der Arbeit anderer Seite vorbehalten ist, möge hier auf einen Punkt hingewiesen werden, der gleichsam als Nebenprodukt der angestellten Untersuchungen nebenbei erwähnt wird.

Es wurden drei Hefnerlampen der Firma Siemens & Halske verwandt, die von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt mit je einem Flammenmesser nach von Hefner-Alteneck und einem optischen Flammenmesser nach Krüss beglaubigt und deren Lichtstärke bei der photometrischen Prüfung mit beiden Flammenmessern zu 1,00 HK gefunden wurden.

Die Verfasser stellen nun am Schlusse ihrer Arbeit die Lichtstärken dieser Lampen zusammen, wie sie sich aus einem Vergleich mit ihrer Glühlampennormale ergeben hatten. Das Ergebnis ist folgendes:

Flammenmesser	Lichtstärke in HK der Hefnerlampe PTR 1905	PTR 1906	PTR 1907	Mittel der drei Hefnerlampen
Krüss	1,0034	0,9960	0,9893	0,9963
Hefner	1,0052	1,0036	1,0022	1,0037

Daß bei der Feststellung der Lichtstärke auf vier Dezimalen eine Abweichung von dem nur mit zwei Dezimalen ermittelten Beglaubigungswert stattfindet, ist selbstverständlich, nur sollte die Abweichung nicht größer als die Hälfte der zweiten Dezimalen sein. Diese Bedingung wird mit Ausnahme des optischen Flammenmessers PTR 1907 auch erfüllt, ebenso im Mittel der drei Lampen. Wie weit die Versuche die Genauigkeit der angegebenen Zahlen gewährleisten, ist nicht nachprüfbar. Ich kann mir aber nicht denken, daß die Reichsanstalt die Lampe PTR 1907 mit optischem Flammenmesser mit einer Lichtstärke von 1,00 beglaubigt hat, wenn sie wirklich nur eine solche von 0,99 besitzt, so daß ich annehmen muß, daß die Verfasser sich geirrt haben.

Die Verfasser fügen nun den vorstehenden Zahlen die Bemerkung hinzu, daß verschiedene den Vorschriften entsprechende Hefnerlampen bei Verwendung mit Flammenmessern nach Hefner-Alteneck mit vorschriftsmäßigen Abmessungen sehr genau übereinstimmende Ergebnisse liefern, während die Verwendung von Flammenmessern nach Krüss trotz vorschriftsmäßiger Abmessungen eine Übereinstimmung nicht gewährleisten. Sie fügen hinzu, daß diese Erkenntnis mit den Erfahrungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in vollem Einklang stehe. Sie verweisen dabei auf die Veröffentlichung von Lummer und Brodhun: „Photometrische Untersuchungen" *(diese Zeitschr.* ***10.*** *S. 129. 1890)* und „Die Beglaubigung der Hefnerlampe" *(diese Zeitschr.* ***13.*** *S. 250 u. 259. 1893).*

Schlägt man die erste der beiden angegebenen Stellen auf, so sieht man mit Staunen, daß hier von der Hefnerlampe und ihrem optischen Flammenmesser überhaupt nicht die Rede ist. Es handelt sich vielmehr um die Untersuchung der Flammenhöhen von Normalkerzen und dabei wird ausgeführt, daß man es vorzog, die Flammenhöhen stets mit dem Kathetometer und nicht mit dem optischen Flammenmaß zu beobachten, weil bei dem letzteren der äußerste Saum der Flammenspitze und auch der blaue Grund der Kerzenflamme wegen ihrer geringen Lichtstärke nicht gut sichtbar sind und hierdurch ein konstanter Fehler von 0,5 mm und mehr leicht entstehen kann. Es ist selbstverständlich, daß die Fernrohrablesung mit dem Kathetometer der Benützung eines optischen Flammenmaßes, aber auch der Ablesung mit Visier überlegen sein muß.

Und mit der zweiten angeführten Literaturstelle steht es nicht viel besser. Dort steht, nach den Versuchen der Reichsanstalt habe sich ergeben, daß zwei Lampen, welche in den richtigen Abmessungen ausgeführt sind, wenn sie in der gleichen Luft brennen, abgesehen von Beobachtungsfehlern, keine Abweichung in der Lichtstärke zeigen. Danach braucht sich eine Prüfung der

Hefnerlampe nur auf eine genaue Kontrolle der einzelnen Abmessungen zu erstrecken. Nichtsdestoweniger hält man es für nötig, sich bei jeder Beglaubigung vorher von der vorgeschriebenen Lichtwirkung, da diese ja den eigentlichen Zweck der Lampe bildet, zu überzeugen und auch das Ergebnis der photometrischen Prüfung im Beglaubigungsschein zu vermerken. Bei Beglaubigungen von Lampen mit Krüssschem optischen Flammenmesser läßt sich zudem die photometrische Prüfung schon aus dem Grunde nicht umgehen, weil durch die optische Vorrichtung ein Teil des Flammensaumes absorbiert wird.

Wie aus diesen beiden Literaturstellen eine Übereinstimmung der Reichsanstalt mit der Anschauung der Verfasser, daß bei Verwendung von Flammenmessern nach Krüss eine Übereinstimmung in der Lichtstärke verschiedener Lampen nicht gewährleistet sei, hergeleitet werden kann, erscheint unerfindlich.

Der optische Flammenmesser für die Hefnerlampe ist seiner Zeit einer Anregung Liebenthals entsprechend konstruiert worden in der Absicht, die etwas mühsame Einstellung mittels des Visiers durch eine Vorrichtung zu ersetzen, bei welcher das durch eine Linse erzeugte Bild der Flammenspitze in einer Ebene mit der schwarzen Marke von nicht mehr als 0,2 mm Dicke auf der Mattscheibe erscheinen zu lassen. Diese Einrichtung hat sich in der Praxis bewährt, was schon der Umstand zeigt, daß die Reichsanstalt im Laufe der verflossenen fast 30 Jahre weit mehr Hefnerlampen mit optischem Flammenmesser zur Beglaubigung überwiesen erhalten hat, als solche mit Visier. Ferner hat die photometrische Prüfung von Hefnerlampen mit optischen Flammenmessern, die die vorgeschriebenen Abmessungen hatten, auch stets die vorgeschriebene Lichtstärke von 1,00 ergeben.

Die Flamme der Hefnerlampe zeigt wie die Kerzenflamme eine nur geringe Schärfe der Flammenspitze. Es wird deshalb in den Beglaubigungsvorschriften der Reichsanstalt die folgende Anleitung zur Regelung der Flammenhöhe mittels der zugehörigen Flammenmesser gegeben.

Der helle Kern der Flamme soll bei Benutzung des Visiers von Hefner-Alteneck, wenn man durch die Flamme hindurch nach dem Visier blickt, von unten scheinbar an das Visier anspielen. Das schwach leuchtende Ende der Flammenspitze fällt dann nahezu mit der Dicke des Visiers zusammen; erst bei scharfem Zusehen erblickt man noch einen Schimmer von Licht bis ungefähr 0,5 mm über dem Visier.

Bei dem Krüssschen optischen Flammenmesser wird der äußere Saum der Flamme durch die matte Scheibe absorbiert. Demgemäß hat man die Flammenhöhe so zu regulieren, daß die äußerste sichtbare Spitze des Flammenbildes die Marke auf der matten Scheibe berührt. Dabe hat der Beobachter in möglichst senkrechter Richtung auf die matte Scheibe zu blicken.

Bei Benutzung des Visiers hat demgemäß der Beobachter die Entscheidung über richtige Unterdrückung der schwachleuchtenden Flammenspitze zu treffen und es erscheint sehr wohl möglich, daß ein und derselbe Beobachter zu sehr konstanten Einstellungen kommt, aber es erscheint daneben durchaus nicht ausgeschlossen, daß die ebenfalls unter sich konstanten Einstellungen eines anderen Beobachters von denen des ersten abweichen.

Beim optischen Flammenmesser dagegen soll die schwachleuchtende Flammenspitze durch das Mattglas absorbiert werden. Es liegt zunächst nahe, daran zu denken, daß hier eine Abhängigkeit von der Stärke der Absorption der matten Scheibe in Betracht kommt. Bedenkt man aber, daß der Unterschied in der Lichtstärke des leuchtenden Teiles der Flamme und der Flammenspitze ein sehr großer ist, die Flächenhelligkeit des leuchtenden Teiles der Flamme über ihre ganze Fläche eine ziemlich gleichmäßige ist, und man als Mattscheibe eine solche von feinem Korn der Vorschrift entsprechend nimmt, so ist nicht einzusehen, inwiefern durch den optischen Flammenmesser eine Unsicherheit, wie die Verfasser sie behaupten, in die Einstellung der Flammenhöhe der Hefnerlampe kommen kann.

H. Krüss.

Buchhändler-Schlüsselzahl am 18. Juli 1923: **18500.**
Die Schlüsselzahl drückt die im Buchhandel eingetretene Entwertung aus; die Grundzahl entspricht dem ungefähren Vorkriegspreis, Grundzahl (GZ.) vervielfacht mit Schlüsselzahl (S.) ergibt den Verkaufspreis.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

8. Heft: August.

Inhalt:

Berlin.
Verlag von Julius Springer.
1923.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im Inlande durch den Buchhandel, die Post oder auch von der Verlagshandlung bezogen werden. Diese Stellen erteilen auch Auskunft über den jeweiligen monatlichen Bezugspreis.

Im Auslande ist die „Zeitschrift für Instrumentenkunde" nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlage zu beziehen; sie kostet bei portofreier Zustellung vierteljährlich 1,95 Dollar.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei $^1/_4$ $^1/_2$ $^1/_1$ Seite Umfang Grundzahl 31.25 62.50 125.— Mark mal Buchhändler-Schlüsselzahl vom Tage d. Erscheinens.

Bei 3 6 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist 10 20 % Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: Grundzahl 0,28 × Buchhändler-Schlüsselzahl.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Rücksendung von Bildstöcken erfolgt zu Lasten der Eigentümer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch
Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 935 Julius Springer.

Buchhändler-Schlüsselzahl am 15. September 1923: 14000000.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **August 1923.** Achtes Heft.

Registrierapparat zur automatischen Aufnahme von Ionisierungs- und anderen Kurven.

Von
Paul Knipping in Charlottenburg.

In der Technik findet man an vielen Stellen Registrierapparate, bei wissenschaftlichen Arbeiten sind derartige, die eigne Beobachtung ausschaltende Maschinen in der Regel nicht gebräuchlich. Indessen können Bedingungen eintreten, die ihre Anwendung rechtfertigen oder gar fordern. Ein solcher Fall liegt vor, wenn es sich um die Aufnahme der in der Überschrift genannten Kurven handelt.

Der erste Gesichtspunkt, der die Anwendung eines derartigen Apparates erforderlich macht, ist die große Anzahl von Messungen, die notwendig sind, wenn man aus dem Material sichere Schlüsse ziehen will. Dazu kommt, daß der Vorgang bei allen Messungen bis ins einzelne genau der gleiche ist, daß durch seine zeitliche Länge sich leicht Fehler einschleichen, die bei der viel kürzer dauernden automatischen Aufzeichnung wegfallen oder verkleinert werden. Bei dieser der Willkür weitgehend entzogenen Methode fällt jede Irrtumsmöglichkeit fort, und die Kurven entstehen zwar vor den Augen, aber ohne Zutun des Beobachters in der objektivsten Weise.

Von dem Apparat wurde verlangt, daß er mehrere Kurven auf dasselbe Blatt zeichnete, was zur Anwendung von Spiegelinstrumenten (nicht Seitengalvanometer usw.) und photographischer Arbeitsweise zwang. Hierdurch war zwar wegen der Galvanometerträgheit die Registriergeschwindigkeit nach unten zu ziemlich begrenzt, doch konnten in zwei Minuten klare Kurven erhalten werden, während früher eine ähnliche Aufnahme von Hand mindestens die zwanzigfache Zeit brauchte. Der Registrierbereich (s. S. 251) sollte leicht einstellbar sein, der Apparat seine Voltskala (s. S. 248) selbst drucken. Außerdem mußte er (zur Ausschaltung der Galvanometerträgheit) vorwärts und rückwärts laufen können, es wurde eine sichere Eichmöglichkeit und zuletzt vielseitige Verwendbarkeit in bezug auf Schaltungen verlangt.

Bei der konstruktiven Ausführung waren noch folgende Forderungen zu berücksichtigen: selbstverständlich Dauerhaftigkeit und geringe Abnutzung, sichere Lage der Achse, die die Registriertrommel und die elektrischen Teile trägt, weiter sichere Isolation, um Fremdströme fernzuhalten. Die Registriertrommel mußte leicht und sicher auswechselbar sein. Schließlich sollte der Apparat, der natürlich elektrisch angetrieben war, in seiner „Nullstellung" nach jedesmaligem einmaligem Umlauf stehen bleiben.

Wie diese Bedingungen verwirklicht sind, wird sich im folgenden zeigen. Es wurde eine Maschine geschaffen, deren Handhabung so einfach war, daß sie leicht im fast vollkommen verdunkelten Zimmer bedient werden konnte.

I.

Der Apparatbeschreibung muß wohl eine Bekanntmachung des Untersuchungszweckes und des Arbeitsvorganges vorausgehen: und so betrachte man zunächst Fig. 1, auf der der einfachste Fall der Anordnung zur Hervorbringung und Verwendung von „Stoßelektronen“ dargestellt ist.

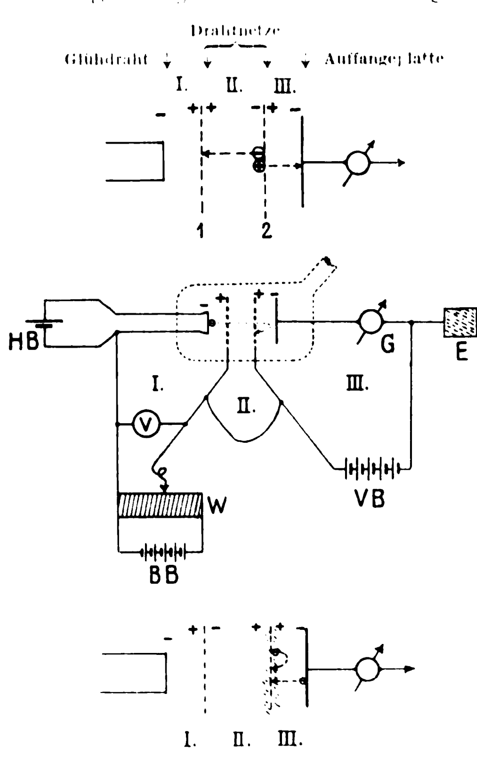


Fig. [illegible].
Oben: ein Ionenpaar. Mitte: Grundsätzliche Schaltspannung. unten: Photoeffekt.
HB Heizbatterie; *BB*, *VB* Beschleunigungs- bzw. Verzögerungsbatterie für Elektronen; *W* Spannungsteiler; *V* Voltmeter; *G* Galvanometer; *E* Erde.

In dem (gestrichelt angedeuteten) Glasgefäß befindet sich von links nach rechts: ein Glühdraht, ein „erstes Drahtnetz“, ein „zweites Drahtnetz“ und eine „Auffangeplatte“. Dementsprechend gehen fünf Zuleitungen in das Glasrohr. Zwei, vom Glühdraht kommende, führen zur Heizbatterie *HB*, nach deren Einschalten der Glühdraht zur Glut kommt und Elektronen aussendet. Die beiden Drähte vom ersten und zweiten Netz seien zunächst zum Kreis II kurzgeschlossen. Im Kreis I werden die Elektronen durch die Beschleunigungsbatterie *BB* beschleunigt und bekommen ihre Energie, im Kreise III werden sie wieder verzögert, ihre Energie wird ihnen abgenommen, aber etwa auftretende positive Ionen werden auf die Auffangeplatte gezogen, wo sie vermöge des Galvanometers *G* ihre Anwesenheit kundtun, wie unten gezeigt werden soll.

Die Beschleunigungsbatterie *BB* (sie habe in unserm Beispiel etwa 20 V) liegt an dem Schiebewiderstand *W* von etwa 1000 Ω, auf dem sich der Spannungsabfall von 20 V verteilt. Die negative Seite dieses Widerstandes ist mit dem Glühdraht, der Schiebekontakt mit dem ersten Netz verbunden. Durch Verschieben des Kontaktes kann jede beliebige Spannung zwischen 0 und 20 V an Glühdraht und erstes Netz gelegt und durch das Voltmeter *V* abgelesen werden. Die Elektronen aus dem Glühdraht geraten also in das beliebig einstellbare Beschleunigungsfeld in der Richtung auf das erste Drahtnetz zu. Da die beiden Netze kurzgeschlossen sind, haben die Elektronen nach dem Durchgang durch das erste konstante Geschwindigkeit und fliegen so weiter auf das zweite Netz. Dieses ist jetzt mit dem positiven Pol der „Verzögerungsbatterie“ *VB*, die Auffangeplatte mit dem negativen Pol der Batterie verbunden, und in diesem Kreis III liegt das Galvanometer *G*. Es sei nun die Spannung dieser Batterie größer etwa 24 V wie die von *BB*. Dann werden die Elektronen zwar noch mit konstanter Geschwindigkeit durch die Maschen des zweiten Netzes fliegen, zwischen diesem und der Auffangeplatte aber gebremst werden und schließlich so zurückgebogen, daß ihre Bahnen sämtlich auf dem zweiten Drahtnetz ihr Ende finden. (Eine derartige Elektronenbahn ist auf der mittleren Figur zur Darstellung gebracht. Bei diesen ganzen Überlegungen setzen wir voraus (was hier erlaubt ist), daß die Elektronen vorher nicht mit den Drahtnetzen kollidieren. Im

Kreise III wird dann unter diesen Umständen auch nicht der geringste Strom zustande kommen, und das Galvanometer *G* zeigt keinen Ausschlag.

Hierbei war außerdem noch angenommen, daß das Glasrohr absolut evakuiert war. Ist dies nicht der Fall, ist irgendein Gas (unter einem „günstig gewählten" Druck) zugegen, so ändern sich die Verhältnisse in folgender Weise: Zunächst treten die Elektronen ebenso aus dem Glühdraht aus wie vorher und sie werden ebenso beschleunigt; sie erleiden auch im wesentlichen keine Zusammenstöße mit Gasmolekülen in dem Raum I zwischen Glühdraht und erstem Netz, weil der Abstand zwischen diesen beiden Elektroden (entgegen der Angabe der Figur) sehr klein gemacht ist. In dem großen Raum zwischen den beiden Drahtnetzen treffen die Elektronen jedoch mit den Gasmolekülen zusammen. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden: Entweder die Elektronen erleiden reguläre Reflexionen, ohne etwas von ihrer Geschwindigkeit bzw. Energie einzubüßen, dann bleibt alles wie zuvor und das Galvanometer zeigt keinen Strom; oder die Elektronen geben bei den Zusammenstößen Energie an die Moleküle (oder Atome) ab und „erregen" diese dabei in irgendeiner Weise (Ionisation, Dissoziation, Lichtanregung).

Bei diesen „unelastischen" Zusammenstößen entstehen beispielsweise Ionenpaare. Wenn nun von vornherein ein ganz schwaches Feld — wenige Zehntel Volt reichen schon hin — so zwischen die beiden Drahtnetze gelegt ist, daß die positiven Ionen auf das zweite, die negativen auf das erste gezogen werden, so treten die positiven Ionen durch die Maschen des zweiten Netzes, geraten in das (zwar die Elektronen verzögernde) die positiven Ionen beschleunigende Feld, fallen auf die Platte und geben so am Galvanometer *G* einen Ausschlag, siehe Fig. 1 oben.

Der Vorgang kann auch in anderer Weise beschrieben werden: Die vom Glühdraht kommenden Elektronen erzeugen im zuletzt behandelten Falle in dem Gas eine Ionenbildung und damit eine Leitfähigkeit. Unter dem Einfluß des Feldes der Batterie *VB* kommt im Stromkreis III ein Ionenstrom zustande, den das Galvanometer *G* anzeigt.

Um das ganze elektrische System auf ein bestimmtes Potential zu bringen, erdet man irgendeinen Punkt, beispielsweise eine Galvanometerklemme. Der sich in der Literatur oft findende Ausdruck: „Die Ladungen fließen über das Galvanometer zu Erde" entspricht in keiner Weise den Tatsachen. Die richtige Art der Erdung ist von praktischer Bedeutung, weil man dadurch das System unempfindlich gegen Berühren machen kann: wird so wie in der Abbildung geerdet, so darf man jeden Teil der weiteren Stromkreise anfassen, somit erden, ohne daß Fremdströme durch (ausgenommen die Leitung von der Auffangeplatte zum Galvanometer) das Galvanometer fließen.

Wir haben eben gesehen, wie (unter gewissen Umständen) die Energie von Elektronen auf die Moleküle oder Atome übertragen werden kann, und wir wenden uns nun zum Begriff der Ionisierungsspannung. Jedes Gas hat eine gewisse, ihm eigene Festigkeit gegenüber dem Elektronenbombardement. Es gehört eine ganz bestimmte Elektronengeschwindigkeit zum Zertrümmern der Moleküle (Atome), die eine für jedes Gas charakteristische Größe darstellt. Sie heißt die Ionisierungsspannung und wird in der Regel angegeben als Voltgeschwindigkeit der stoßenden Elektronen, also als die Spannung, die das Voltmeter *V* in Fig. 1 anzeigt.

Um die Ionisierungsspannung von verschiedenen Gasen zu messen, hat man sie der Reihe nach in das Glasrohr zu pumpen, den Glühdraht zu glühen, die Elektronengeschwindigkeit von Null an zu steigern und dabei das Galvanometer zu beachten.

Die Ionisierungsspannung ist dann die Voltzahl, bei der der Galvanometerausschlag beginnt.

Die Ionisierungsspannung ist nicht die einzige Gaskonstante dieser Art. Ähnlich wie diese ist die Dissoziationsgröße meßbar, vorausgesetzt, daß bei diesem Vorgang geladene Ionen entstehen.

Etwas anders verhält es sich mit der sogenannten Lichtanregung. Hierzu ist stets eine etwas geringere Energie wie zur Ionisation nötig. Der Anregungszustand ist dadurch gekennzeichnet, daß keine Ionen entstehen, sondern daß die gestoßenen Moleküle oder Atome nur „energiereicher" werden.

Dieser Zustand, der selbst nicht beobachtet werden kann, ist von sehr kurzer Lebensdauer. Er gibt sich aber dadurch zu erkennen, daß beim Zurückkehren in den alten Zustand Licht von dem sich umwandelnden Molekül (Atom) ausgestrahlt wird. Dieses (meist) unsichtbare, kurzwellige Leuchten macht sich in dem dargestellten Apparat in folgender Weise bemerklich (Fig. 1 unten): Am zweiten Drahtnetz (in der gestrichelt gezeichneten Zone), wo die Geschwindigkeit der Stoßelektronen einen Höchstwert hat, trete solches Leuchten auf. Dieses erzeugt an sämtlichen, in der Nähe befindlichen Elektroden den bekannten Photoeffekt (lichtelektrischen, Hallwachseffekt), demzufolge von den Metallteilen Elektronen losgelöst werden. Diejenigen, die vom zweiten Drahtnetz nach der Platte zu austreten, müssen vermöge des Feldes der Verzögerungsbatterie zwangsweise zum Netz zurückkehren. Die aber aus der Platte sich loslösen, fliegen unter dem Einfluß des gleichen Feldes auf das zweite Netz. Wir erhalten somit wieder einen Strom im Kreise III, der das Galvanometer G zum Ausschlag bringt. Man beachte: Bei der Ionisierung flogen die positiven Ionen zur Platte, hier fliegen die negativen Elektronen von der Platte weg. Beide Effekte, die Ionisierung wie die Lichtanregung haben also einen gleichen Galvanometerausschlag zur Folge, so daß ohne weiteres nicht zu entscheiden ist, welcher Vorgang stattfindet. Wie hierbei doch eine Entscheidung getroffen werden kann, soll an späterer Stelle (s. S. 255) gezeigt werden. Die Anregungsspannung ist die Energiegröße (in Voltgeschwindigkeit), bei der Moleküle (oder Atome) angeregt werden, sie ist für jedes Gas ebenfalls eine charakteristische Konstante.

Die hier so harmlos beschriebenen Messungen einer Ionisierungs- oder Anregungsspannung sind aber in Wirklichkeit viel schwieriger. Einesteils liegt dies an der Unmöglichkeit, den Glasapparat jemals mit einheitlichen reinen Gasen zu füllen. Stets sind von vornherein Verunreinigungen beigemengt oder kommen aus der Glaswand des Gefäßes oder dem Glühdraht, oder die zu untersuchenden Gase werden absorbiert oder erleiden Zersetzungen durch die hohe Temperatur des Glühdrahtes oder durch andere Einflüsse. Die Ionisierungsspannung kann somit nicht mehr als der Punkt bezeichnet werden, bei dem der Galvanometerausschlag beginnt, sondern diese Größe muß aus dem „Kurvenverlauf" extrapoliert werden. Die Kurven pflegt man derart aufzunehmen, daß man die Beschleunigungsspannung unter Kontrolle des Voltmeters V auf Fig. 1 allmählich etwa von $^1/_{10}$ Volt zu $^1/_{10}$ Volt steigert und jedesmal den dazugehörigen Galvanometerausschlag abliest. Auf Grund dieser Paarwerte wird dann nachher die Kurve gezeichnet. Die Fig. 2 bringt zwei derartige Kurven zur Anschauung. Nach oben ist der Ionenstrom i, nach rechts die Beschleunigungsspannung der Stoßelektronen v aufgetragen. Die Idealkurve 1 zeigt deutlich getrennt die beiden Knicke für etwa die Ionisierung des zu untersuchenden Gases (bei m) und jene des verunreinigenden Gases

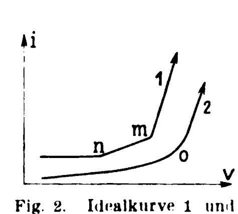


Fig. 2. Idealkurve 1 und wirkliche Kurve 2.

(bei *n*). In 2 ist der Kurvenverlauf so verwaschen, daß bei Punkt *o* nur eine Abrundung zu sehen ist.

Derartige Abrundungen treten weiter als Folge der „Geschwindigkeitsverteilung“ der Elektronen auf, welche zum Teil durch die Temperatur, in höherem Maße durch den Spannungsabfall auf dem Glühdraht bedingt ist. Leidet unter diesen Unzuträglichkeiten schon die Ablesegenauigkeit, so kommen neue Fehler in die Messung, die unter dem Namen „Doppelschichten“ und „Kontaktpotentiale“ bekannt sind. Eine weitere Schwierigkeit liegt bei längeren Messungen in der häufig vorkommenden Inkonstanz der Heiz- und Spannungsbatterien.

Daß es unter solchen Umständen der vielfachen und sorgfältigen Wiederholung der Messungen bedarf, ist daraus wohl ersichtlich. Je genauer solche Messungen werden sollen, in um so kleineren Voltsprüngen muß man fortschreiten. So wird die einzelne Messung wieder zeitlich in die Länge gezogen, und hierdurch werden wieder jene Fehler vergrößert.

Die Aufgabe besteht also darin, in der möglichst kürzesten Zeit eine größere Anzahl von Messungen anzustellen, bei welchen stets der eigentliche Meßvorgang sich in immer gleicher Weise wiederholt. Es ist klar, daß eine Maschine die Genauigkeit wesentlich vergrößern muß.

Eine derartige automatische Registrierung könnte beispielsweise nach der bekannten Saladinschen Anordnung erfolgen, die durch die Verwendung von zwei Galvanometern und eine feststehende Platte gekennzeichnet ist. Das eine Galvanometer mißt die Ionenströme, das zweite (als Spannungsmesser mit einem hohen Vorschaltwiderstand versehen) die dazugehörigen Spannungen. Zwischen beiden ist ein Dowesches Umkehrprisma eingeschaltet, durch welches die Aufzeichnung der Kurve in rechtwinkligen Koordinaten erfolgt. Vgl. Harkort, Metallurgie 1907 und Mars, Stahl und Eisen 1911.

Oder man kann so vorgehen, daß man den Schieber des Widerstandes *W* in Fig. 1 mit der photographischen Platte kuppelt, beide gleichzeitig und langsam im Sinne wachsender Spannung verschiebt. Dabei fällt wieder der vom Galvanometer reflektierte Lichtstrahl auf diese Platte, die sich etwa in wagerechter Richtung verschiebt, während der Galvanometerausschlag senkrecht dazu geht. Dann zeichnet der Lichtstrahl auch direkt die gesuchten Kurven in rechtwinkligen Koordinaten auf.

Bei dem vorliegenden Apparat kommt diese Methode zur Anwendung, nur ist der Widerstand kreisförmig angeordnet und die photographische Schicht ein auf die „Registriertrommel“ befestigter Film. Wenn dieser in langsame Umdrehung versetzt wird, schleift ein Stromabnehmer über den kreisförmigen Widerstand. Die gemeinsame Drehachse beider Bewegungen liegt wagerecht, der Galvanometerausschlag erfolgt von rechts nach links oder umgekehrt, so daß wieder die Kurven in rechtwinkligen Koordinaten aufgezeichnet werden.

II.

Der Registrierapparat ist aufgebaut auf einem mit Zahntrieb versehenen, auf- und abwärts verstellbaren Gauß-Stativ, so daß der vom Galvanometer reflektierte Lichtstrahl leicht in bezug auf die Höhe auf die Registriertrommel fallen kann.

Auf der Platte dieses Gauß-Tisches sind drei eiserne Schienen *XXX* mit eingehobelten V-förmigen Nuten angeschraubt, in denen die drei Fußschrauben des eigentlichen Registrierapparates verschiebbar sind. Der Registrierapparat kann so um etwa 30 cm in seine Längsrichtung verschoben werden, was später (s. S. 249) begründet werden soll.

Der Registrierapparat selbst ist auf der schweren, eisernen Grundschiene *P* montiert, die am linken Ende eine Stellschraube *t* zum Horizontieren, nicht weit vom rechten Ende zwei solche Schrauben in dem eisernen Querstück *Q* trägt.

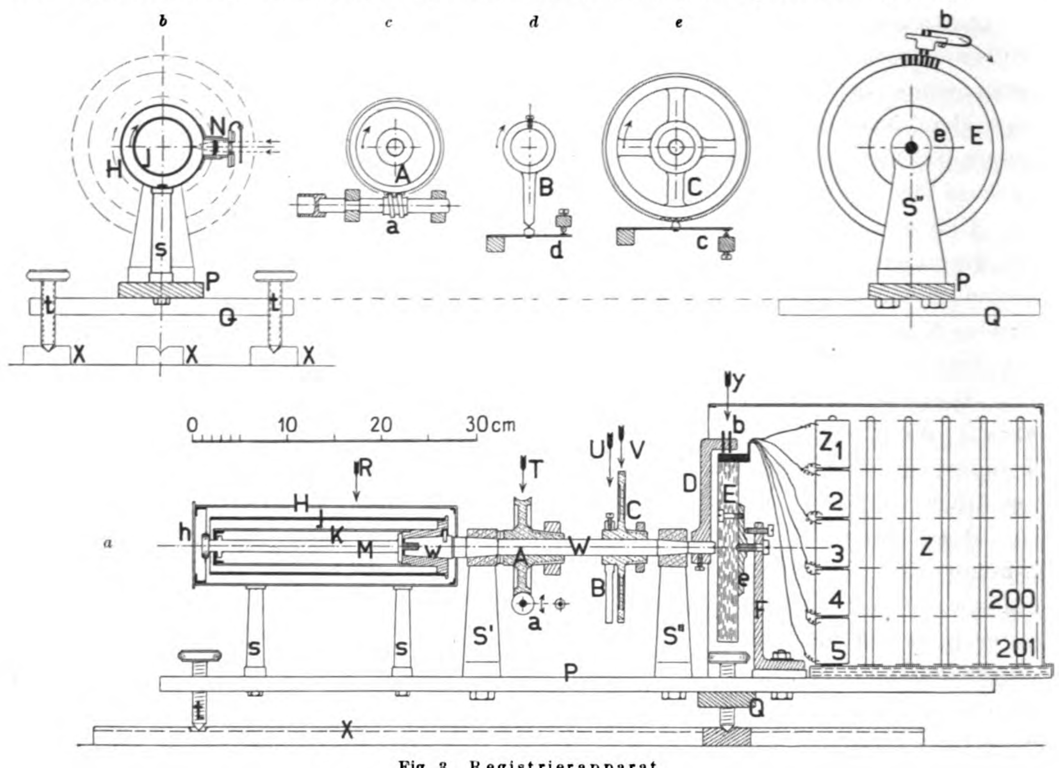


Fig. 3. Registrierapparat.
a: Längsschnitt,
b: Querschnitt bei *R* durch die Registriertrommel,
c: „ „ *T* „ den Antrieb,
d: „ „ *U* „ den Hilfskontakt,
e: „ „ *V* „ das Kontaktzahnrad,
f: „ „ *Y* „ den Kollektor und Stromabnehmer.

In den beiden Säulen *SS* ist die Welle *W* gelagert, an der rechts der Kontaktarm *D*, links die Registriertrommel *I*, ferner der Antrieb *A* und die Hilfsvorrichtung *BC* befestigt sind. Die Welle *W* ist in den beiden Lagern zweimal konisch gelagert und läßt sich nach Lösen der auf ihr sitzenden Teile nach links herausziehen. Diese Art der Lagerung verbürgt ein fast mathematisches Konstantbleiben der Achsenrichtung, was mit Rücksicht auf die Sicherheit der Resultate wichtig ist und später erläutert wird (s. S. 249).

Der Teil *A* stellt den Antrieb für die Welle *W* vor, bestehend aus einem Zahnrad von 50 Zähnen und dazu passender Schraube ohne Ende. Das Zahnrad ist auf eine Buchse montiert, die genau auf die entsprechende Stelle der Welle paßt. Der rechte Teil der Buchse ist mit einem konischen Außengewinde versehen, vierfach geschlitzt und kann durch die angedeutete Mutter fest auf die Achse gepreßt werden. Damit ist der Antrieb fest mit der Welle verbunden. Zwischen der Buchse von *A* und dem Lager bei *S* liegen zwei saubere Ringe. Die Konusse im Verein mit diesen Anlageflächen an *A* sichern die Achse gegen seitliches Spiel.

Die Antriebsschnecke *a* wird links (Lötzapfen) mit einer biegsamen Welle verbunden, die über ein zweites Schneckenradgetriebe zu dem Antriebsmotor führt. Die kleine Welle *a* ist in zwei einfachen Lagern gelagert, die so eingerichtet sind, daß

der Schneckeneingriff durch Betätigung eines Exzenters außer Wirksamkeit gebracht werden kann (schematisch angedeutet), so daß dann die Welle *W* frei von Hand beweglich ist.

Das linke Ende der Welle *W* ist zum Konus *w* ausgebildet, auf den die Registriertrommel mit dem photographischen Film aufgeschoben wird. Ein in die Welle eingelassener kleiner Keil und eine entsprechende Ausfräsung in dem massiven Boden des Zylinders bewirken, daß die Trommel stets in der gleichen Weise aufgesetzt werden muß (s. Fig. 3*a*). *M* stellt eine Schraube mit langem Griff vor, der links aus dem Registrierzylinder *I* etwas vorragt. Die Fläche nächst dem Gewinde am rechten Ende preßt beim Zuschrauben die Trommel fest auf den Konus *w*. Das Abziehen des Zylinders würde in dem engen Gehäuse Schwierigkeiten bereiten, wenn nicht folgende Einrichtung getroffen wäre: Der Schraubenstift trägt links kurz vor dem Griff einen Flansch, der unter einen Rand faßt, der durch das Hilfsrohr *K* fest mit dem massiven Bodon des Registrierzylinders verbunden ist. Beim Aufdrehen der Schraube *M* schraubt sich zunächst das Gewinde etwas los, darauf drückt dieser Flansch den Zylinder zentrisch von dem Konus *w* ab. So sind mit einer Schraube zwei Aufgaben gelöst: einmal das feste Aufsitzen des Zylinders auf der Welle, ferner sein leichtes Loslösen, ohne daß dabei dem Apparat Schaden geschieht.

Der Film selbst wird auf der Trommel in der bei Registrierinstrumenten üblichen Weise durch eine Flachfeder festgehalten. Zu dem beschriebenen Apparat gehören zwei gegeneinander auswechselbare Trommeln, ferner ein lichtdichter Aufbewahrungszylinder für die Reservetrommel.

Der Registrierzylinder *I* ist durch das auf den Säulen *ss* ruhende Gehäuse *H* mit dem abnehmbaren Deckel *h* lichtdicht abgeschlossen. Das Rohr *H* trägt vorn bei *N* in einem ausziehbaren Ansatz eine 25 cm lange Zylinderlinse, einen in der Höhe verstellbaren Spalt und den Verschlußdeckel. Die Zylinderlinse ist so justiert, daß das vom Galvanometer kommende Lichtbild der Einfadenglühlampe (von den Osramwerken geliefert) zu einem Punkt auf dem Film zusammengezogen wird.

Das rechte Ende der Welle *W* trägt den Kontaktarm *D*, der aus zwei voneinander isolierten Teilen (nicht gezeichnet) besteht. Der isolierte Teil führt einerseits zu einem (nicht gezeichneten) Schleifkontakt, von dem die Spannungen abgenommen werden, anderseits zu der Bürste bei *b*. Diese besteht — nach verschiedenen unzureichenden Versuchen — aus einem kleinen Messingstück mit 5 bis 7 Löchern, in die Stücke von weichem, gutem Bleistift gesteckt sind, welche durch kleine Federn gegen die Bahn des Kontaktrades *E* gedrückt werden.

Das Kontaktrad *E* aus Ebonit, der Kollektor, steht fest. Die Ebonitscheibe ist gegen Verziehen durch den aufgeschraubten Messingflansch *e* gesichert und mit einer Zug- und drei Druckschrauben an dem festen Winkel *F* justierbar so auf der Grundplatte befestigt, daß seine Fläche genau senkrecht zur Welle *W* steht. Die richtige Höhenlage wurde durch passende Unterlagen zwischen *P* und *F* bewerkstelligt.

In diesen Kollektor *E*, eine Ebonitscheibe von 20 cm Durchmesser, sind auf einer guten Drehbank 202 feine Nuten eingeschnitten. Ebenso viele Messinglamellen (mit Fähnchen zum Anlöten der Drähte) wurden dort mit Schellack eingekittet. Nach Hartwerden des Kittes wurde die Scheibe nochmals sauber überdreht.

Das rechte Ende der Grundplatte *P* trägt eine große, quadratische Ebonitplatte, in die eine Anzahl Stäbe eingeschraubt sind, auf welche die Widerstandsspulen *Z* geschoben sind (von einem Blechkasten gegen Staub und Beschädigung geschützt).

Jede Spule ist mit ihrem Nachbar verlötet, und von diesen Lötstellen führen Drähte zu den Lamellen des Kollektors.

Die erste Lamelle führt zu einer gut isolierten Klemme und zum Anfang des Widerstandes Z_1, die zweite Lamelle zur Lötstelle zwischen Z_1 und Z_2 usf., die letzte Lamelle zum letzten Widerstand Z_{201} und zur zweiten isolierten Anschlußklemme. Zwischen den Lamellen 201 und 1 befindet sich eine Lücke von mehrfacher Lamellenbreite, die sogenannte „Nullstellung“. (Man vergleiche auch Fig. 9.) Die Spulen Z wurden alle einzeln auf ihren Widerstand gemessen, ihr Ohmwert schwankte zwischen 99,5 und 100,5 Ω, also rund 100,0 Ω.

Der Schleifkontakt b ist so eingerichtet, daß er mindestens zwei Lamellen gleichzeitig berührt (seine Breite ist 2 mal Lamellenbreite + 1 mal Zwischenraum), so daß keine Unterbrechungen entstehen. Das ganze Widerstandssystem hat 201 × 100 = rund 20000 Ω, steigend in Sprüngen von je 100 Ω. Wenn 10 V an die Enden dieses Widerstandes gelegt werden, so wird er von $^1/_2$ mA durchflossen, dem hundertsten Teil der Höchstbelastbarkeit der Widerstände. Dann besteht zwischen je zwei Lamellen ein Spannungsunterschied von $^1/_{20}$ V. Der über den Kollektor schleifende Stromabnehmer b liefert dann an die dritte, isolierte Klemme eine von Null anfangende, in $^1/_{20}$ Volt-Sprüngen steigende Spannung bis zum Höchstwert von 10 V. Diese Spannung wird dem Glühdraht resp. dem ersten Drahtnetz des Ionisierungsapparates zugeführt. Während sich dieser Vorgang vollzieht, rotiert auf der anderen Seite der Welle des Registrierapparates mit gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit der Registrierfilm, auf dem dann die Galvanometerausschläge aufgezeichnet werden.

Es ist klar, daß man auf diese Weise ohne weiteres relative Ionisierungs- usw. Kurven bekommt. Diese Kurven werden zu absoluten, wenn auf dem Film noch genaue Angaben über die bezüglichen Spannungswerte angegeben sind. Dies wird durch die folgende Vorrichtung bewirkt: C stellt ein Zahnrad vor, welches ähnlich wie das Antriebsrad A auf der Welle W unverschiebbar befestigt ist. In seinen Umfang sind, nachdem die Kollektorscheibe E geschnitten war, 100 Zähne mit der doppelten Teilung wie bei der Kollektorscheibe eingefräst. Diese Zähne betätigen den bei c angedeuteten Kontakt. In der Nähe des Galvanometerspiegels befindet sich ein kleines Glühlämpchen, welches vermöge dieses Kontaktes scharfe Lichtblitze auf den Registrierapparat sendet. Das Licht trifft die Zylinderlinse in ihrer ganzen Länge und erzeugt so auf der ganzen Breite des Films eine deutliche Schraffierung von 100 Linien. Um einige dieser Linien noch besonders zu kennzeichnen, ist die Lücke beim 25., 50. und 75. Zahn stehen geblieben, so daß dort ein längerer Lichtblitz, ein breiterer Streifen das Resultat ist. In dem genannten Beispiel sind also die Lichtlinien um je $^1/_{10}$ V voneinander entfernt, die Werte bei $2^1/_2$, 5 und $7^1/_2$ V sind durch die breiteren Streifen noch besonders hervorgehoben, und so kann man die Galvanometerausschläge auf Bruchteile eines Zehntel Volt absolut genau ablesen. Unter diesen Umständen ist das sonst beim Glühdraht und ersten Drahtnetz angeschaltete Voltmeter entbehrlich. Man bedarf seiner nur einmal zu Beginn oder

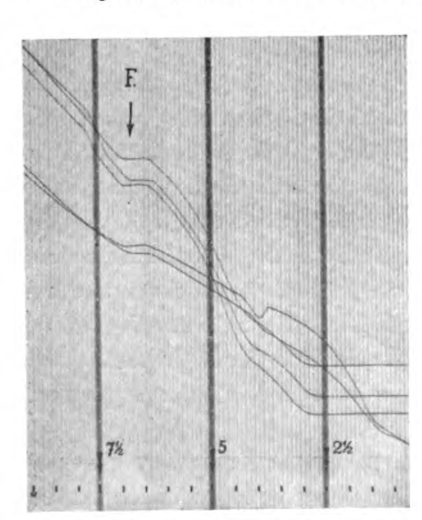


Fig. 4. Voltskala.

am Ende der Registrierung, um die an das Widerstandssystem gelegte Spannung abzulesen[1]).

Bei solcher Arbeitsweise ist eine natürliche Voraussetzung, daß der Registrierzylinder nicht „schlägt“, sondern genau zentrisch auf der Achse sitzt. Gerade zu diesem Zweck ist die lange und sorgfältige Achslagerung und die sichere Befestigung des Registrierzylinders eingerichtet.

Der (einstellbare) Arm *B* und der zugehörige Kontakt *d* gehören zu einer Vorrichtung, die nachher erwähnt wird. Hat man in solcher Weise eine Registrierkurve aufgenommen, so kann man ohne weiteres eine zweite daneben schreiben. Man braucht dazu nur den ganzen Apparat etwas seitlich zu verschieben. Zu diesem Zweck gleiten die drei Stellschrauben *t*, die Füße des Ganzen, in den vorher (s. S. 245) erwähnten, V-förmig gehobelten Schienen *XXX* (s. Fig. 3). In dieser Art vermag man zehn und auch mehr Kurven auf einen einzigen Film zu bekommen, was mancherlei Annehmlichkeiten mit sich bringt. Neben der Materialersparnis ist vor allem zu erwähnen, daß, solange man die Registrierspannung nicht verändert, alle zugehörigen „Knicke“ untereinander zu liegen kommen und so leicht verglichen werden können. Hierbei muß man nur dafür Sorge tragen, daß man, wenn die Kurven sich kreuzen, die richtige verfolgt. Um dies zu erleichtern, brennt die Einfadenlampe für das Registriergalvanometer nicht immer gleichmäßig hell, sondern nach Wahl kürzer oder länger, hell oder dunkel blinkend, so daß punktierte oder gestrichelte Kurven verschiedenen Charakters entstehen, die leicht auseinandergehalten werden können.

Diese Blinke sind durch folgende Kontakteinrichtung ermöglicht (Fig. 5), auf der gleichzeitig die Schaltung für den motorischen Antrieb des Registrierapparates dargestellt ist.

Von der Achse *a* (Fig. 3c) geht eine biegsame Welle (um Übertragung von Motorerschütterungen zu vermeiden und dem Registrierapparat eine gewisse Bewegungsfreiheit zu geben) nach der Welle *H* in Fig. 5, die ihrerseits durch den Schneckenradantrieb *T* vom Elektromotor *A* in Bewegung gesetzt wird. Auf einer der Achsen ist ein Exzenter *K* angebracht. Die Registrierlampe *RL*, deren durchschnittliche Helligkeit durch die Widerstände *M* und *N* bestimmt ist, blinkt heller auf, wenn der durch *K* betätigte Kontakt den Widerstand *N* kurzschließt.

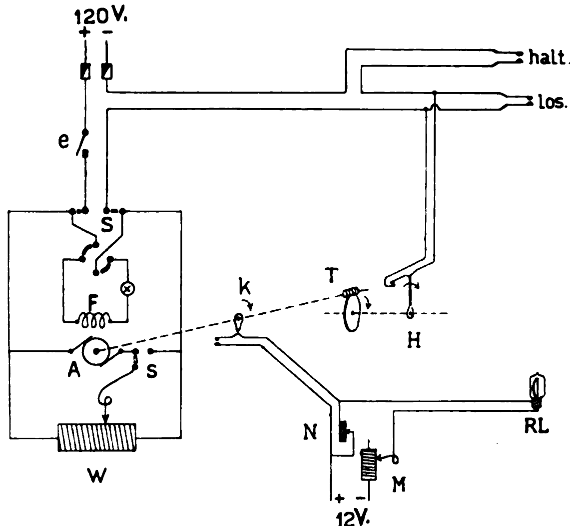


Fig. 5. Motorschaltung.
A F Motor; bei *H* Antrieb zum Registrierapparat; *RL* Registrierlampe.

In ähnlicher Weise waren Einrichtungen zum momentanen Verdunkeln angebracht, die durch Umschalter gegeneinander auswechselbar waren. Im Notfall konnte

[1]) Auf Fig. 4 ist außer der deutlichen senkrechten Schraffierung noch eine feine wagerechte zu bemerken. Diese rührt von dem Schatten einer in die Zylinderlinse (Fig. 3b) eingeritzten Millimeterteilung her. Die wagerechte Schraffierung ist bequem, um zu erkennen, wann die anfangs auch wagerecht verlaufenden Kurven ihren ersten Anstieg zeigen, der, wie vorn gesagt war, von besonderem Interesse sein kann.

man sich durch taktmäßiges Abblenden des Lichtstrahles mit der Hand helfen und so die verschiedenen Kurven voneinander unterscheiden.

Der Motor *A* ($^1/_{16}$ PS) bekommt seinen Strom von der 120-Voltleitung über ein Paar Sicherungen, den einpoligen Ausschalter *e* und mehrere Kontakte (halt, los, *H*). *S* ist ein achtpoliger Hebelumschalter, dessen Stellung den Vorwärts- oder Rückwärtsgang der Maschine bedingt. Die Spulen für das Magnetfeld *F* sind unter Zwischenschaltung einer als Ballastwiderstand dienenden Kohlefadenlampe direkt an den Umschalter *S* angeschlossen. Der Anker hingegen bekommt seinen Strom von dem als Spannungsteiler dienenden Widerstand *W*. Je weiter dessen Schieber nach rechts rückt, um so schneller läuft der Motor. Diese Schaltung (Speisung der Feldmagnete mit konstanter Maximalspannung, des Ankers mit einer variablen Spannung) ist wenig bekannt. Sie gewährt den Vorteil, daß man den Motor mit hohem Drehmoment bei beliebiger Tourenzahl laufen lassen kann. In meinem Fall erstreckte sich der Regelbereich von einer halben bis über 40 Umdrehungen in der Sekunde. Auch bei der langsamsten Geschwindigkeit wurde der Registrierapparat anstandslos mitgenommen. Der Schalter *s* erlaubt, den schnellsten Lauf einzuschalten, ohne daß man an der Schieberstellung von *W* etwas zu ändern braucht, was oft angenehm ist.

Mit den Kontakten „halt“, „los“, „*H*“ hat es folgende Bewandtnis: „halt“ und „*H*“ sind gewöhnlich geschlossen, „los“ offen. „*H*“ ist übrigens hier auf Fig. 5 der gleiche Kontakt wie auf Fig. 3 *d* mit seinem Kontaktarm *B*. Der Kontakt bei *d* wird nur geöffnet, wenn der Arm *B* die Nase niederdrückt. Dies tritt in der sogenannten „Nullstellung“ des Registrierapparates ein, wenn also der Stromabnehmer *D, b* zwischen den Lamellen 1 und 201, bzw. wenn der Lichtstrahl vom Galvanometer am Anfang des Registrierfilms steht. Unter diesen Umständen kann der Antriebsmotor, auch wenn alle übrigen Schalter geschlossen sind, nicht anlaufen. Er beginnt aber sofort seine Tätigkeit, sowie der Kontakt „los“ gedrückt wird. Der Lauf kann an jeder beliebigen Stelle durch einen Druck auf die Taste „halt“ unterbrochen werden. Andernfalls kommt der Apparat von selbst nach vollendeter Umdrehung vermöge des Kontaktes bei *H* in Fig. 5 oder des gleichen Kontaktes *d* in Fig. 3 in seiner „Nullstellung“ zur Ruhe.

Diese Vorrichtungen bieten manche Vorteile: man kann vor allem während der Registrierung, die durchschnittlich 2 bis 5 Minuten dauert, seine Aufmerksamkeit anderen, wichtigen Dingen zuwenden. Man kann das Werden der Kurven verfolgen, und wenn der Lichtzeiger die Skala überschreitet, durch einen Tastendruck auf den Kontakt „halt“ den Versuch abbrechen, schnell durch die Schalter *Ss* den Apparat etwas rückwärts laufen lassen, um dann mit niederer Galvanometerempfindlichkeit von neuem die kritische Stelle zu registrieren. Alle Schalter sind selbstverständlich in unmittelbarer Nähe des Beobachters übersichtlich angeordnet.

III.

Hiermit sind im wesentlichen der Registrierapparat selbst, sein Antrieb und seine Hilfsvorrichtungen beschrieben. Als wichtige weitere Teile sollen jetzt die Schaltungen besprochen werden. Man betrachte zunächst die schematische Fig. 6a unten. Darauf erkennt man den Glühdraht, die beiden Drahtnetze und die Auffangeplatte. Alle Verbindungen bis auf die hier in Betracht kommenden sind der besseren Übersicht halber fortgelassen. Hier liegt der negative Pol der Batterie B_1 am Anfang des Widerstandes und gleichzeitig am Glühdraht, der positive Pol am Ende des Widerstandes, dessen Schiebekontakt zum ersten Drahtnetz führt. Die Batterie habe

40 V. Dann geht die durch den Widerstand ausnutzbare Spannung von 0 bis 40 V. Es ist oft bequem, einen derartig großen „Registrierbereich" zu beherrschen, aber das geschieht natürlich auf Kosten der Genauigkeit. Wir nehmen einmal an, wir hätten ein bestimmtes Gas mit noch unbekannter Ionisierungsspannung, die bei 33 V liege. Dann benutzen wir diese Schaltung, um die ungefähre Lage der kritischen Spannung festzustellen. Darauf aber gehen wir zur Schaltung von Fig. 6b über. Hierbei liegt an dem Widerstand die Batterie B_2 von nur 10 V, aber zum Glühdraht hin ist noch die weitere Batterie B_1 von 30 V vorgeschaltet. Jetzt geht unser Registrierbereich nur noch von 30 bis 40 V, aber natürlich ist die Ausnutzung des Widerstandes jetzt viermal günstiger. Wir können leicht noch weiter gehen und beispielsweise $B_1 = 32$, $B_2 = 2$ Volt machen und dadurch eine außerordentliche Feinheit, ein hohes „Auflösungsvermögen" erzielen. In allen den hier behandelten Fällen soll der gezeichnete Widerstand den im Registrierapparat befindlichen vorstellen.

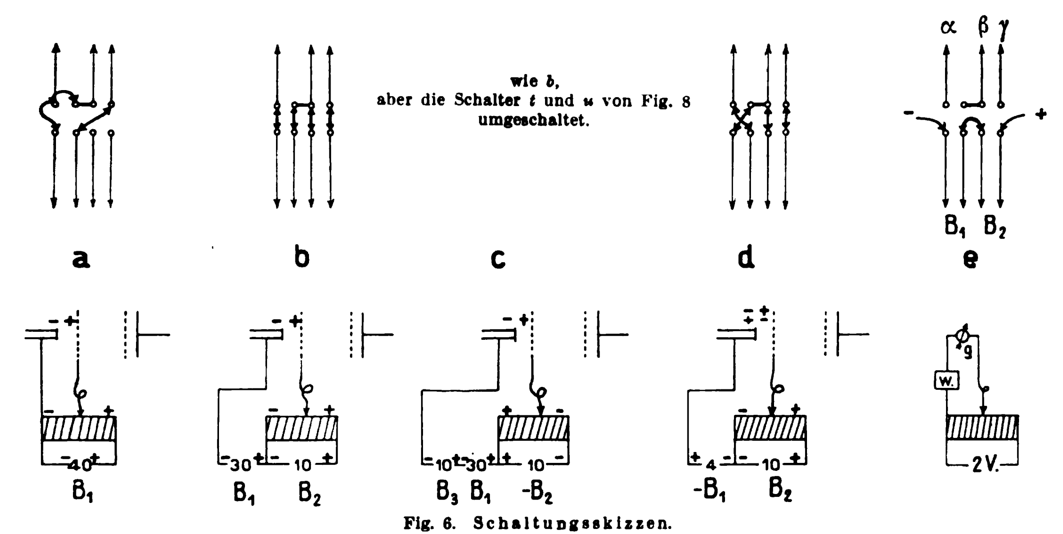


Fig. 6. Schaltungsskizzen.
Registrierbereich: *a* 0—40 V (weitester Registrierbereich), *b* 30—40 V (normaler Betrieb), *c* 40—50 V („elektrisch rückwärts"), *d* —4 — + 0 V am Glühdraht (für Abtrennungsarbeit), *e* oben: Akkumulatorenladung; unten: Eichung des Registrierwiderstandes.

Man könnte nun auf den gewiß berechtigten Verdacht kommen, daß in einem doch einigermaßen verwickelten Gebilde, wie es dieses Widerstandssystem darstellt, sich Fehler einstellen. Dies kommt ab und zu auch vor, sei es, daß ein Kurzschluß zwischen einer oder mehreren Spulen entsteht, sei es, daß ein Drahtbruch eintritt. In diesen Fällen erscheinen auf allen Registrierungen bei genau derselben Voltstelle Knicke (solche sind auf Fig. 4 mit F bezeichnet), die den Kundigen sofort auf die Störung aufmerksam machen. Diese fehlerhaften Knicke sind auch daran kenntlich, daß sie sich nicht verschieben, sondern an ihrer Stelle bleiben, wenn man die angelegten Spannungen B_1 oder B_2 ändert, weil sie eben Apparatfehler sind. (Wenn die betreffenden Knicke von Ionisierungen usw. herrührten, so müßten sie sich bei Spannungsänderungen verschieben!) Sollte nun eine solche Störung eintreten und etwa ein echter, durch Ionisation hervorgerufener Knick bei der Registrierung räumlich mit einem derartigen Fehler zusammenfallen, so kann man sich in folgender Weise helfen (ich nenne das Verfahren „elektrisch rückwärts" registrieren im Gegensatz zu „mechanisch rückwärts", wobei man den Drehsinn des Registrierapparates umkehrt!), Fig. 6c unten: Man kehrt die Batterie B_2 um und legt eine gleichgroße B_3 im gleichen Sinne wie B_1 vor B_1. Alsdann verfügt man über einen Registrierbereich

von (in diesem Beispiel) 40 bis 30 V, während im vorigen Fall von 30 bis 40 V registriert wurde. Verliefen die alten Kurven nach rechts, so gehen die neuen nach links, sie kreuzen also die alten, der Fehlerknick bleibt genau an der alten Voltstelle, der dem Gase zugehörende erscheint aber an einer anderen Stelle, und zwar symmetrisch zur Mittellinie des Films. Auf diese Weise kann man sich leicht gegen solche, aus dem Apparat kommenden Störungen sichern. Natürlich ist es zweckmäßig, den betreffenden Draht- oder Isolationsfehler bei nächster Gelegenheit auszubessern.

Die folgende Fig. 6d unten zeigt die Schaltung, um die Austrittsarbeit von Elektronen aus Glühdrähten zu messen. Hierbei ist B_1 verzögernd und B_2 für Elektronen beschleunigend geschaltet. Im gewählten Beispiel geht der Registrierbereich von + 4 V bis — 6 V, wobei das Vorzeichen auf die Polarität des Glühdrahtes bezogen ist.

Die letzte Fig. 6e unten zeigt die Eichschaltung für den Registrierwiderstand selbst. Dabei sind an den Widerstand einfach 2 V gelegt. Das Galvanometer *g* dient (unter Zwischenschaltung eines passenden hohen Widerstandes w) direkt als Voltmeter. Ist der Apparat in Ordnung, so muß sich auf dem Film eine mehr oder weniger (je nach Galvanometerempfindlichkeit) geneigte Gerade aufzeichnen. Knicke deuten auf Kontaktfehler oder ähnliches im Widerstandssystem. Diese Prüfung ist sehr scharf. Denn dabei liegt zwischen den einzelnen Lamellen nur ein Spannungsabfall von einem hundertstel Volt. Kleine Störungen am Stromabnehmer müssen sich also mehr bemerklich machen wie später bei den Messungen, bei denen in der Regel höhere Spannungen angelegt werden. Fig. 7 zeigt solche Eichkurven bei zwei verschiedenen Galvanometerempfindlichkeiten.

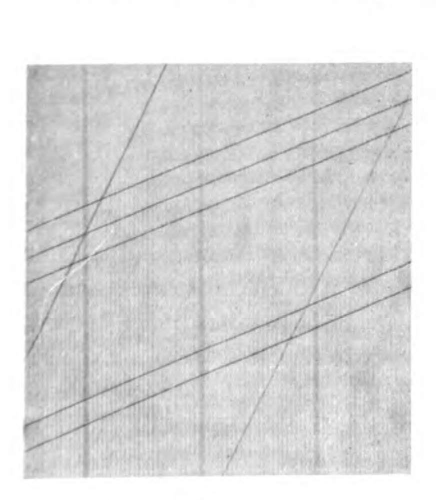


Fig. 7. Eichkurven.

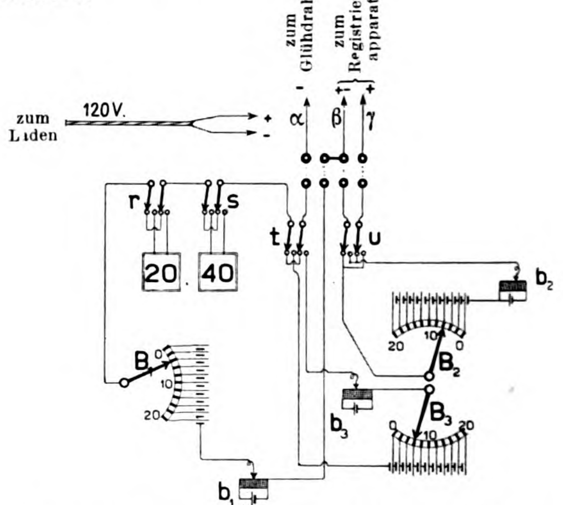


Fig. 8. Schaltung der Batterie für die Elektronenbeschleunigung.

Es wäre aber recht schwierig, wenn man die verschiedenen Schaltungen dadurch herstellen wollte, daß man jedesmal die Drähte löst und entsprechend neu verbindet. Zudem mußte bei aufgelegtem Film im (wenn auch hellroten, so doch [illegible] verdunkelten Zimmer gearbeitet werden. Hierbei möchten durch verkehrte [illegible] leicht schwerwiegende Schaltungsfehler vorkommen. Um die Unbequemlichkeiten zu umgehen und gleichzeitig falsche Anschlüsse zur Unmöglichkeit zu machen, sowie die Bedienung zu vereinfachen, wurde folgende Anordnung (Fig. 8 und 9) ge-

troffen. Zunächst wurde die Erzeugung und Schaltung für die Elektronenbeschleunigung (von allen anderen Teilen getrennt) für sich auf einem Tisch (Fig. 8) vereinigt.

Dieser Tisch trägt die Batterien B_1, B_2, B_3, 20, 40, b_1, b_2, b_3, insgesamt 126 V. (Die Akkumulatoren waren in guter Qualität von Gottfried Hagen in Köln geliefert.) Die Batterien B_1, B_2, B_3 von je 20 V waren jede von 2 zu 2 V unterteilt, mit Kontaktbahn und Schleifkurbel eingerichtet zum bequemen Abnehmen von Spannungen von 0, 2, 4, ... bis 20 V. Die Kontakthebel von B_2 und B_3 sind mechanisch gekoppelt, so daß, wenn etwa an B_2 6 V abgenommen werden, dies bei B_3 in gleicher Weise der Fall ist.

„20“ und „40“ sind zwei nicht unterteilte Batterien, deren Zuleitungen an die Klemmen der Schalter r und s führen. Sind diese Schalter nach links geschlagen, so sind „20“ und „40“ abgeschaltet und der von B_1 kommende Stromkreis ist dort geschlossen. Liegen r oder s nach rechts, so wird die Spannung von B_1 um den eingeschalteten Betrag erhöht. Die Batterie B_3 führt zu einem Schalter t, der gleichfalls im Kreis der Batterie B_1 liegt und ebenso wie r und s eingerichtet ist.

Dagegen ist der Schalter u ein Stromwender, an dem die Enden der Batterie B_2 liegen. Stehen t und u, deren Griffe gekuppelt werden können, nach links, so ist B_3 ausgeschaltet und B_2 in solchem Sinn gepolt, wie es die Fig. 6b unten zeigt. Stehen aber t und u nach rechts, so ist dies die Schaltung für „elektrisches Rückwärts“-Registrieren, vgl. Fig. 6c unten. Die Batterien b_1, b_2, b_3 mit ihren als Spannungsteiler geschalteten Widerständen erlauben noch, kleine Voltbeträge zu B_1, B_2, B_3 hinzuzufügen, um ganz bestimmte, etwa ganzzahlige, Voltbeträge herzustellen. In dem Beispiel der Fig. 8 geht der dort eingestellte Registrierbereich (von b_1, b_2, b_3 abgesehen) von 4 bis 10 V „elektrisch vorwärts“.

Die Leitungen von t, u und B_1 führen zu vier Stöpsellöchern, denen vier weitere gegenüberstehen. Von diesen sind die beiden mittleren verbunden, vom linken führt α über Stöpsel 1 in Fig. 9 zum Glühdraht, die beiden rechten, β und γ, zum Widerstand des Registrierapparates.

An dieser Stöpselstelle befinden sich weitere Schaltmöglichkeiten, die durch die Schemata auf Fig. 6a bis e erläutert sind: Wenn die Stöpsellöcher nach Fig. 6a oben verbunden werden, so hat man das darunter stehende Schaltbild, wobei der Registrierbereich von Null bis zur Höchstspannung der Batterie B_1 geht („weitester Registrierbereich“).

Die Verbindung von Fig. 6b oben gibt die darunter stehende, gewöhnlich verwendete Schaltung, während Fig. 6c unten bei gleicher Stöpselanordnung nur durch Umlegen der Schalter t und u Fig. 8 erhalten wird.

Fig. 6d oben und unten ist wohl ohne Erläuterung verständlich.

Fig. 6e oben (das mit dem darunter stehenden Schema nichts zu tun hat!) stellt die Ladeschaltung vor, bei der jeder einzelne Teil der gesamten Beschleunigungsbatterie oder auch in Gruppen geladen werden kann. Hierzu dient die in Fig. 8 gekennzeichnete 120-Voltleitung.

Alle Schalter usw. sind in übersichtlicher Weise auf einem Schaltbrett montiert, desgleichen mehrere nicht ausgezeichnete Steckdosen an jeder Batterie (für die Voltmeteranschlüsse). So war die Überwachung, Instandhaltung und Bedienung der die Elektronen beschleunigenden Batterie selbst im Dunkeln eine Kleinigkeit. Dieser ganze Tisch mit allem Zubehör war, wie auch die übrigen elektrischen Teile, durch hohe Glasfüße sorgfältig vom Erdboden isoliert.

Fig. 9 zeigt die weitere Schaltung: Der Strom der beschriebenen Beschleunigungsbatterie tritt bei $\alpha\beta\gamma$ ein. Von α geht eine Leitung zum Stöpsel 1. Die Leitungen β und γ führen zum Anfang A und Ende E des Widerstandes am Registrierapparat, von dessen Kontaktarm C eine Leitung zum Stöpsel 2 geht.

Die doppelten Stöpsellöcher 1 bis 6 sind auf einem Ebonitstück montiert und in der durch die starken Linien gekennzeichneten Weise miteinander fest verbunden. In die oberen Löcher von 1 und 2 sind die Zuleitungen zum Glühdraht resp. zum ersten Drahtnetz gesteckt. Von 6 geht einerseits die Erdleitung [E] aus, andererseits die Leitung zur Auffangeplatte im Ionisierungsapparat, in der die durch den Schalter U wahlweise benutzbaren Galvanometer I und II mit ihren Vorschaltwiderständen, ein Sicherheitsausschalter und ein (nicht gezeichneter) Stromwender liegen. Das zweite Drahtnetz ist bei 5 eingestöpselt.

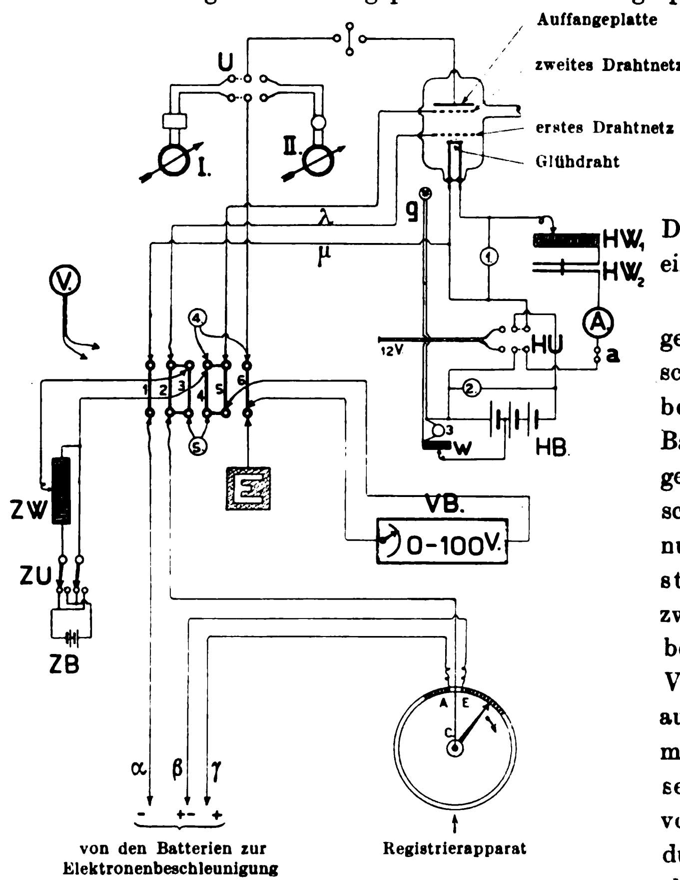


Fig. 9. Weitere Schaltung.
Z zum Zwischenkreis, *V* zum Verzögerungskreis, *H* zum Heizstromkreis gehörig.
V Haupt-Voltmeter; *I*, *II* Galvanometer.

Die mit Z bezeichneten Gegenstände gehören zum „Zwischenkreis", der in Fig. 1 mit *II* bezeichnet war. ZB ist eine Batterie von 4 V, ZU der dazugehörige Polwender und Ausschalter, ZW ist der als Spannungsteiler geschaltete Widerstand (rd. 1000 Ω), von dem zwei Leitungen nach den Stöpseln bei 3 und 4 führen. VB ist die Verzögerungsbatterie (Kreis *III* auf Fig. 1), dargestellt durch mehrere, beliebig zusammenstöpselbare Kästen im Gesamtbetrag von etwa 100 V, deren letzter durch Kontaktbahn und Kurbel die Spannung von 2 zu 2 V zu regulieren gestattet. Seine Drähte münden in die Stöpsel bei 5 u. 6.

Die mit 4 und 5 bezeichneten kleinen Kreise stellen zwei Voltmeter vor. Dieses, von 0 bis 4 V und dem Nullpunkt in der Mitte der Skala überwacht die geringe, meist nur einige Zehntel Volt betragende Spannung zwischen den beiden Netzen des Ionisierungsapparates (Kreis *II* in Fig. 1). Jenes, bis 50 resp. 100 V, zeigt die Höhe der Verzögerungsspannung an. Bei λ und μ lassen sich noch weitere Galvanometer einschalten, welche die Ströme in den betreffenden Stromkreisen überwachen. Darüber wird an anderer Stelle berichtet.

Des weiteren ist der Heizstromkreis für den Glühdraht dargestellt und mit H bezeichnet. HB ist die Heizbatterie, bestehend aus drei großen Zellen von je 30 A/st Kapazität, deren Spannung durch das kleine Voltmeter 2 dauernd überwacht wird.

HU ist der Lade-Entlade-Umschalter. Nach links gelegt, wird die Batterie von einer vorhandenen 12-Voltleitung aufgeladen. Nach rechts gelegt, leitet er den Strom über den Ausschalter *a*, durch das Amperemeter *A* und die beiden Schiebewiderstände HW_1 und HW_2 zum Glühdraht und zurück zu *HU*. Das kleine Voltmeter 1 gibt die Klemmspannung am Glühdraht an.

Von einer Zelle der Heizbatterie ist eine besondere Leitung über den Widerstand *W* nach dem Glühlämpchen *g* abgezweigt, dessen Klemmspannung durch das kleine Voltmeter 3 angezeigt wird. Dieses Lämpchen, stets mit konstanter Spannung gebrannt, dient zum bequemen Einstellen der Temperatur des Glühdrahtes im Ionisierungsapparat. Zwischen beiden Lichtquellen befindet sich ein kleines, nicht gezeichnetes Photometer, bestehend aus einem Lummer-Brodhun-Würfel und zwei Milchglasplatten, die in ein lichtdichtes Gehäuse mit den nötigen Rohransätzen zum Eintritt des Lichtes resp. zum Beobachten eingebaut waren. Durch diese Einrichtung kann man den Glühdraht, der in unserm Fall fast stets aus einem 0,01 mm dicken, 3 mm breiten und 10 mm langen Band aus Platin-Iridium bestand, leicht auf die nötige hohe Temperatur heizen, ohne doch so hoch zu gehen, daß das Band durchbrennt.

Das Voltmeter *V* ist das Hauptnormalinstrument für sämtliche Spannungsmessungen, es ließ sich sowohl an den auf Fig. 9 angegebenen 2×6 wie auf Fig. 8 gezeichneten 2×4 Stöpsellöchern einschalten, um jeden einzelnen Teil überwachen zu können. Das Instrument war verschiedentlich vor und nach wichtigen Meßreihen mit einem geeichten Präzisionsinstrument verglichen, und es wurden niemals Abweichungen größer als $^1/_{500}$ des ganzen Skalenausschlages dabei gefunden.

Wurde früher erläutert, in wie vielseitiger Weise die Apparatur durch die Stöpselvorrichtung in Fig. 8 (Schemata auf Fig. 6) verwendbar ist, so soll noch eben darauf hingewiesen werden, daß auch durch die Stöpselvorrichtung auf Fig. 9 die Verwendungsmöglichkeit abermals erweitert wird.

Bei der Erwähnung der sogenannten Lichtanregung war auf S. 244 davon die Rede gewesen, daß ohne weiteres nicht zu entscheiden sei, ob unter bestimmten Umständen Ionisation oder Lichtanregung stattfände. Hier bietet sich Gelegenheit, das dort Gesagte zu erweitern, gleichzeitig als Beispiel für die leichte Änderungsmöglichkeit der Schaltung.

Wenn man, ohne sonst etwas zu ändern, die Zuführungen der Zwischenbatterie *ZB* in Fig. 9 an Stelle von bei 3,4, nun bei 5,6 einstöpselt, umgekehrt die Verzögerungsbatterie *VB* von 5,6 nach 3,4 legt, so bekommt man die von Davis und Goucher zuerst benutzte Schaltung: zwischen Glühdraht und erstem Netz werden die Elektronen wie üblich beschleunigt. Dann folgt zwischen den beiden Netzen das starke Verzögerungsfeld, in seinem Voltbetrag etwas größer wie die maximale Beschleunigung; es verhindert den Durchtritt der Elektronen zum Auffänger, genau wie dies früher zwischen dem zweiten Netz und dem Auffänger der Fall war. An dieser Stelle liegt nun aber das schwache Feld der früheren Zwischenbatterie, und zwar in einem solchen Sinne, daß das Netz negativ, die Platte positiv ist. Dies hat zur Folge, daß beim Auftreten des Photoeffekts die lichtelektrisch ausgelösten Elektronen von dem Netz zur Platte strömen und einen Galvanometerausschlag in einem bestimmten Sinne geben. Treten aber Ionen auf, so geschieht dies in der Nähe des ersten Netzes, wo die Geschwindigkeit der Stoßelektronen ein Maximum ist. Die positiven Ionen, die als einzige zur Messung gelangen, bekommen dann durch das starke Feld zwischen den beiden Drahtnetzen eine solche Geschwindigkeit, daß sie leicht gegen das schwache Feld zwischen zweitem Netz und Auffangeplatte anlaufen können und auch auf die Platte gelangen. Es kommen jetzt also positive Ladungen zur Platte und geben im

Galvanometer einen Ausschlag, der dem früheren, durch die Photoelektronen hervorgerufenen entgegengesetzt ist. Hierdurch kann unterschieden werden, ob an einer solchen Stelle Ionisation oder Lichtanregung vorliegt.

Es bestehen noch eine große Zahl von Schaltmöglichkeiten, die übersichtlich in der Zusammenstellung von J. Franck beschrieben sind (*Physik. Zeitschr. 1921. S. 388*). Es erübrigt sich, sie hier im einzelnen schaltungsmäßig zu erläutern, da es sich im Grunde genommen nur um die zweckmäßige Anwendung der betreffenden Spannungen an den richtigen Stellen handelt. So ist es ein leichtes, die Schaltungen für Geschwindigkeitsverlust, Geschwindigkeitsverteilung, die sogenannte reine Lichtschaltung usw. hier in Anwendung zu bringen.

Der Apparat wurde nach meinen Angaben und unter meiner Leitung in den Werkstätten des Kaiser Wilhelm-Institutes für physikalische Chemie und Elektrochemie in Berlin-Dahlem im Herbst 1920 erbaut und befindet sich auch jetzt noch dort. Der Apparat hat sich bei meinen Untersuchungen als Präzisionsapparat trefflich bewährt. Hierbei sind vom Herbst 1920 bis zum Frühjahr 1923 viele Tausend Einzelkurven aufgenommen. Fig. 10

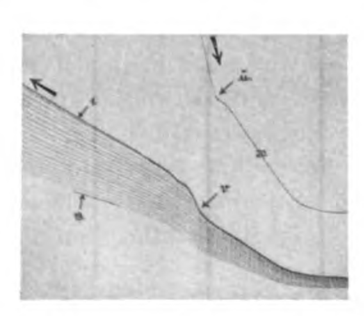


Fig. 10. 19 hintereinander aufgenommene Kurven



Fig. 11. Geringer Einfluß der Galvanometerträgheit.

zeigt einen Ausschnitt aus einem solchen Registrierblatt. Es wurde dabei bei einem Gase, welches sich langsam veränderte, in gleichen Zeiten aufeinander folgende Kurven aufgenommen. So sind die Kurven 1 bis 19 (in der beigefügten Pfeilrichtung) entstanden. Die letzte Kurve 20 (mit höherer Galvanometerempfindlichkeit) verlief im umgekehrten Sinne. Man erkennt hier deutlich den (durch die Galvanometerträgheit bedingten) Unterschied der beiden durch *u* und *v* bezeichneten Knicke. Vor allem sieht man die Treue, mit der die kleinsten Knicke oberhalb *v* in allen Kurven wiederkehren. Wie wenig die Galvanometerträgheit an sich störte, wenn man nur hinreichend langsam arbeitete, zeigt Fig. 11.

Mit dem Apparat habe ich folgende Untersuchungen ausgeführt:

1. Ionisierung und Lichtanregung in Helium. 2. Ionisierung und Lichtanregung in Wasserstoff. Diese beiden Arbeitsgebiete sind zur Zeit noch nicht abgeschlossen. 3. Ionisierungsspannung der Halogenwasserstoffe; *Zeitschr. f. Physik S. 328, 1921.* 4. Ionisierungsspannung komplizierter Verbindungen, wie Essigsäure usw., die in bezug auf die gewünschten Größen vorläufig zu keinen Resultaten führten, aber den enormen Einfluß geringer Beimengungen von Wasserdampf bei diesen Substanzen aufklärten. 5. Ionisierung des Wasserdampfes (noch nicht abgeschlossen). 6. Austrittsarbeit der Elektronen aus verschiedenen Glühdrähten.

Über 4, 5 und 6 wird an anderer Stelle berichtet.

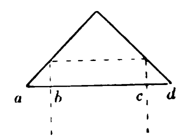
Referate.

Große oder kleine Prismengläser?

Von Dr. H. Erfle. *Deutsche Opt. Wochenschr. 1922. S. 654.*

Der Verfasser beschäftigt sich im wesentlichen mit Ausführungen, welche Seegert in derselben Zeitschrift über „Die Lichtstärke des kleinen Prismenglases" gemacht hatte.

Kleinere Prismengläser haben gewöhnlich auch kleinere Prismen und infolgedessen auch einen kleineren Glasweg der Lichtstrahlen. Also wird auch der Lichtverlust durch Absorption in den Glasmassen der Prismen kleiner sein. Der Verfasser weist darauf hin, daß dieser Umstand nicht so stark ins Gewicht falle, weil der Verlust durch Reflexion an den freien Glasflächen der Linsen und Prismen, deren Anzahl bei großen und kleinen Prismengläsern dieselbe ist, einen viel größeren und überwiegenden Einfluß auf die endlich übrigbleibende Lichtstärke ausübe. Er teilt mit, daß bei zwei Prismengläsern Zeissischer Konstruktion und gleicher Vergrößerung, von denen das eine einen Objektivdurchmesser von 30 mm, das andere von 15 mm hatte, die durchgelassene Lichtmenge die gleiche war, nämlich 0,58. Er gibt an, daß bei dem größeren die Länge des Glasweges 107 mm, bei dem kleineren Prismenglas dagegen 82 mm sei, und daß sich daraus bei der Annahme einer Lichtdurchlässigkeit des zu den Prismen verwandten Glases von 0,95 für eine Schichtdicke von 100 mm die Lichtdurchlässigkeiten von 0,945 und 0,96 berechneten. Diese Überlegenheit des kleineren Prismenglases von 0,015 gehe bei dieser Konstruktion aber dadurch wieder verloren, daß an einzelnen Linsenflächen des kleineren Glases ein größeres Brechungsverhältnis vorhanden ist als bei dem größeren.



Daraus geht also das von vornherein Selbstverständliche hervor, daß bei im übrigen vollkommen gleicher Konstruktion ein kleineres Prismenglas eine größere Lichtdurchlässigkeit wegen der geringeren Glasmasse der Prismen haben muß als ein größeres, daß der Unterschied aber unbedeutend und keinesfalls 10% betragen könne, wie Seegert anführte.

Es sei darauf hingewiesen, daß auf den ersten Blick die vom Verfasser angegebene Länge des Glasweges der Lichtstrahlen für das kleine Prismenglas verhältnismäßig groß ist gegenüber dem größeren Glase, obgleich der Objektivdurchmesser des kleinen Glases nur halb so groß ist wie derjenige des großen. Aber die Größe der Porro-Prismen ist nicht allein abhängig von dem Durchmesser des durch sie hindurchgehenden konvergierenden Strahlenbüschels. Die Länge des Glasweges in einem der beiden Prismen ist gleich der Länge der Hypotenuse (Figur). Sie setzt sich zusammen aus den notwendigen Strecken ab und cd, welche erforderlich sind, um den vom Objektiv kommenden Lichtbüschel hindurchzulassen und der Strecke bc, welche gleich der Entfernung der parallel nebeneinander liegenden Achsen des Objektivs und des Okulars ist. Es ist nicht ohne weiteres selbstverständlich, daß diese Entfernung proportional der übrigen Dimensionen des Prismenglases (Objektivdurchmesser) sind, sondern es liegt im Ermessen des Konstrukteurs, wie er aus diesen oder jenen Gründen diese Entfernung bemessen will. Auch aus diesem Grunde ist ein allgemeines Urteil über das Verhältnis des Lichtverlustes in einem größeren oder in einem kleineren Prismenglase nicht möglich.

Es verdient noch ein weiterer Punkt der Ausführungen des Verfassers besonderes Interesse. Er führt an, daß nach seiner Meinung Seegert bei seinen Berechnungen über den Absorptionsverlust in der Glasmasse Werte benutzt habe, die viel zu hoch für die jetzt zu den Porro-Prismen benutzten Glasarten seien. Seegert wendet Zahlen an, die seiner Zeit H. W. Vogel ermittelt hat[1]). Der Verfasser weist hin auf Messungen von H. A. Krüss[2]), der eine weit größere Lichtdurchlässigkeit festgestellt habe. Es müßten also die von Vogel untersuchten Glasarten fast alle eine ungewöhnlich starke Absorption gehabt haben. Das ist allerdings nicht ohne weiteres anzunehmen. Wenn auch die von beiden Autoren untersuchten Glasarten nicht die ganz gleichen sind, so sind

[1]) Die Lichtabsorption als maßgebender Faktor bei der Wahl der Dimensionen des Objektivs für den großen Refraktor des Potsdamer Observatoriums. *Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1896, S. 1219.*

[2]) Die Durchlässigkeit einer Anzahl Jenaer optischer Gläser für ultraviolettes Licht. *Diese Zeitschr.* **23.** *S. 238. 1903.*

sie doch zum Teil sehr ähnlich in ihren Brechungs- und Zerstreuungsverhältnissen. Ein vollständig befriedigender Vergleich zwischen beiden Messungsergebnissen kann nicht herbeigeführt werden, denn wie schon gesagt handelt es sich nicht um die gleichen Glassorten und dann sind auch die benutzten Wellenlängen bei den beiden Autoren nicht die gleichen. Ich habe in der nachfolgenden nach den relativen Dispersionen geordneten Tabelle den fünf von Vogel untersuchten Glasarten fünf aus den Veröffentlichungen von H. A. Krüss gegenübergestellt.

Typus	Relative Dispersion	Beobachter	480	477	455	448	400	396	390	384	375
					Krongläser						
O 144	64,0	K	0,95			0,93		0,87		0,75	
O 598	64,0	V		0,77	0,77						
O 60	60,2	K	0,97			0,92		0,82		0,78	
O 203	59,0	V		0,86	0,82		0,70		0,38		0,38
					Flintgläser						
O 1266	43,8	K	0,94			0,79		0,49		0,23	
O 340	41,4	V		0,88	0,83		0,61		0,46		0,39
O 93	35,8	V		0,90	0,81						
O 919	35,7	K	0,94			0,83		0,56		0,22	
O 102	33,8	V		0,70	0,66		0,46		0,02		
O 192	32,0	K	0,89			0,63		0,06		0,00	

Man sieht, daß tatsächlich in den meisten Fällen H. A. Krüss eine viel größere Durchlässigkeit als Vogel festgestellt hat. Nur bei den Flintgläsern und zwar für die kürzeren Wellenlängen ist es umgekehrt.

Was die von den beiden Autoren angewandten Untersuchungsmethoden anbetrifft, so sind die in den letzten beiden Feldern — für die kürzeren Wellenlängen — von Vogel angeführten Zahlen durch das Schwärzungsverfahren ermittelt, sie kommen also hier weniger in Betracht. Im übrigen sind die Unterschiede in den Ergebnissen der beiden Beobachter nicht wohl zu erklären.

H. C. Vogel hat die Beobachtungen nicht allein gemacht, sondern die geübten Beobachter Müller und Wilsing haben sich daran beteiligt. Vogel benutzte ein Glansches Spektrophotometer, H. A. Krüss ein besonders zusammengestelltes Instrumentarium. Aber beide Versuchsanordnungen stimmen darin überein, daß von dem in das Instrument eintretenden Lichtbüschel zwei rechtwinklig zueinander polarisierte Strahlenverläufe hergestellt und in den Gang des einen das zu untersuchende Glasstück eingeschaltet wurde. Der dabei auftretende Lichtverlust durch Reflexion wurde von Vogel durch Rechnung, von H. A. Krüss durch die Versuchsanordnung beseitigt. Die durch die eingeschaltete Glasmasse in der einen Hälfte des Gesichtsfeldes hervorgerufene Lichtschwächung wurde in beiden Fällen durch die Drehung eines Analysators gemessen, die erforderlich war, um die beiden Felder gleich hell erscheinen zu lassen.

Der Unterschied in beiden Versuchsanordnungen war zunächst, daß Vogel als Lichtquelle eine Petroleumlampe benutzte, H. A. Krüss dagegen die Linien eines Metallspektrums, die er flächenhaft ausbreitete. Vogel wird deshalb innerhalb des ausgeblendeten Spektralbezirkes, für die er die mittlere Wellenlänge angibt, ein etwas unreineres Spektrum gehabt haben als H. A. Krüss. Sodann benutzte Vogel als Projektionsfläche für die beiden Felder die Netzhaut des beobachtenden Auges, H. A. Krüss dagegen einen Fluoreszenzschirm, da es ihm ja auf Messungen im Ultraviolett ankam. Wenn nun auch etwa die Intensität seines Aufleuchtens nicht proportional der auffallenden Lichtstärke gewesen sein mag, was nicht ohne weiteres behauptet werden soll, so würde solche Eigenschaft hier nicht in Betracht kommen, weil durch die Drehung des Analysators der Schirm von den beiden Strahlenbüscheln in gleicher Intensität beleuchtet wurde. Dazu kommt, daß H. A. Krüss stets hintereinander das zu untersuchende Glasstück in den einen und in den anderen Strahlenverlauf einschaltete.

Eine Erklärung dieser Unterschiede in den beiden Ergebnissen ist also nicht ohne weiteres möglich. Es wäre deshalb sehr erwünscht, wenn die Versuche über den Lichtverlust in den haupt-

sächlich in der praktischen Optik verwandeten Glasarten wiederholt oder, wenn solche Versuche wie Verfasser andeutet, bereits vorhanden sind, diese veröffentlicht würden. Denn es ist entschieden ein Bedürfnis dafür vorhanden, zumal da die Versuche von Krüss sich nicht weiter als 480 $\mu\mu$ (etwa Linie *F*) nach dem weniger brechbaren, dem optisch wirksamsten Teile des Spektrums erstrecken.

Es mag endlich auch auf einen weiteren Punkt hingewiesen werden. Der Verfasser gibt nämlich an, daß bei seinen zahlreichen Lichtdurchlässigkeitsbestimmungen von Fernrohren sich im wesentlichen immer Übereinstimmung ergeben habe zwischen der beobachteten und den aus den Fresnelschen Reflexionsformeln und einer Absorptionsdurchlässigkeit von 0,95 für 100 mm Glasweg berechneter Lichtdurchlässigkeit.

Nun habe ich in einer Arbeit, die der Verfasser auch anführt[1]), als Lichtdurchlässigkeit eines Prismenfernrohres mit Porro-Prismen durch sorgfältige Beobachtung die Größe 0,59 festgestellt, was mit der jetzigen Angabe des Verfassers 0,58 gut übereinstimmt. Ich habe dann aber diese Lichtdurchlässigkeit aus den Elementen des Instrumentes auch berechnet und dabei die von H. C. Vogel angegebenen Durchlässigkeitsfaktoren für einen Glasweg von 100 mm benutzt, nämlich für eine Stelle des Spektrums in der Mitte zwischen den Linien *D* und *E*, diesen Faktor mit 0,885 angenommen. Dadurch ergab sich für das ganze Prismenglas eine Durchlässigkeit von 0,61. Also ergab die Rechnung eine etwas größere Helligkeit als die Beobachtung, so daß nun berechtigt wäre, den angenommenen Vogelschen Durchlässigkeitsfaktor von 0,885 noch für zu hoch anzusehen. Er müßte 0,84 sein. Es bleibe also noch aufzuklären, wie es möglich war, unter den beiden verschiedenen Annahmen für den Durchlässigkeitsfaktor (0,95 und 0,84) zu fast übereinstimmenden Rechnungsergebnissen zu gelangen. *H. Krüss.*

Neuzeitliche Dunkelkammerbeleuchtung.

Von E. Piwowarsky und G. Linke. *Stahl und Eisen.* **43.** *S. 635. 1923.*

Die Verf. verwerfen den bisher üblichen schwarzen Anstrich der Dunkelkammer sowie die direkte Beleuchtung mit rotem Licht. Sie empfehlen für Rot- und Gelbraum weißen Kalkanstrich und indirekte Beleuchtung. Eine gewöhnliche Metallfadenlampe wird in einen nur oben offenen Holzkasten montiert. In die Kastenöffnung kann ein Rotfilter, oder bei Aufnahmen in natürlichen Farben ein Grünfilter (z. B. Fabrikate der Lifa-Lichtfilterwerke in Augsburg), eingeschoben werden. Die Strahlen fallen gegen die Decke oder auf einem passend angeordneten Schirm und werden diffus auf dem Arbeitsplatz reflektiert.

Der weiße Wandanstrich soll dem von anderer Seite empfohlenen chromgelben vorzuziehen sein. *G.*

Bücherbesprechungen.

L. Borchardt, Altägyptische Zeitmessung. Gr. 4°. XI, 70 S. m. 25 Fig., 18 Taf. Berlin 1920, Vereinigung wissenschaftlicher Verleger.

Prof. Dr. E. von Bassermann-Jordan-München unternimmt es mit einem ganzen Stab von Mitarbeitern eine Geschichte der Zeitmessung und der Uhren herauszugeben. Die Lieferung B des ersten Bandes ist bereits in staunenswert glänzender Ausstattung erschienen. In ihr behandelt L. Borchardt die altägyptische Zeitmessung.

Eine lückenlose Entwicklung der altägyptischen Zeitmessung zu geben, ist zur Zeit noch nicht möglich, da die vorhandenen Funde uns nur von einzelnen Zeitabschnitten Kunde geben, aber nicht ihren inneren Zusammenhang uns darzulegen vermögen. Aus dem Abschnitt über die altägyptischen Zeitmaße entnehmen wir, daß die Ägypter schon im Jahre 4236 v. Chr. einen Kalender einführten, der volle 365 Tage umfaßte und mit dem Tag anfing, an dessen Morgen der Hundsstern zugleich mit der Sonne aufging. Da dieser Tag im Laufe der Jahre nicht festbleiben konnte wegen der längeren Dauer des natürlichen Sonnenjahres, wurde von der Kaiserzeit ab das alexandrinische Jahr üblich, das am 29./30. August jul. begann. Es umfaßte eigentlich

[1]) Die Messung der Helligkeit von Prismenfernrohren. *Diese Zeitschr.* **23.** *S. 8. 1903.*

$365\frac{1}{4}$ Tage, d. h. nach jedem 4. Jahr wurde ein Tag eingeschaltet. Schon das alte Kalenderjahr dürfte in Monate geteilt gewesen sein, die drei Hauptgruppen bildeten, von denen jede 4 Monate umfaßte. Es sind dies die 4 Monate der Überschwemmungszeit, dann die der Saat- oder Winterzeit und endlich die der Ernte- oder Sommerzeit. Später, etwa z. Z. der persischen Herrschaft, wurden die 12 Monate mit je einem eigenen Namen versehen. Jedes dieser Monate zählte 30 Tage. Die vom Jahr noch fehlenden 5 Tage wurden eigens gezählt und meist dem letzten Monat angefügt. Die Einteilung in Wochen ist jedenfalls viel jüngeren Datums. Die Rechnung des Kalendertages selbst war nicht einheitlich. So wurde als Kalendertag der helle Tag angenommen, der zwischen 2 Nächten liegt, oder der helle Tag zusammen mit der vorausgehenden Nacht. Doppelter Art war auch die Annahme für die Länge des hellen Tages. Denn nach der Konstruktion der einen Zeitmesser dauerte der helle Tag von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang, während seine Dauer bei den anderen Zeitmessern vom Beginn bis zum Ende der Helligkeit angenommen werden muß. Letztere Festsetzung ist aber sehr schwierig und darum mit Fehlern behaftet. Da sie von den Altägyptern für astronomische Beobachtungen benutzt wurde, so können wir den Tag der 2. Art als den astronomischen und den der ersteren als den bürgerlichen Tag auffassen. Das gleiche gilt von der Nacht, die sich zwischen 2 Tage einschaltet. Die Teilung des Tages bzw. der Nacht in Stunden läßt sich schon für das Jahr 3000 v. Chr. feststellen. Beide Größen wurden in 12 gleiche Teile geteilt, die aber im Laufe des Jahres bei der Ungleichheit der hellen Tage verschiedene Längen nach unserem Zeitbegriff haben. Gerade 12 Teile wurden gewählt in Anlehnung an die Zahl der 12 natürlichen Mondmonate des Mondjahres, das neben dem Kalenderjahr im Gebrauch war. Unsere jetzige Tagesteilung dürfte auf die Altägypter und nicht auf die Babylonier, die jede der beiden Zeitgrößen in 6 Teile teilten, zurückgehen. Für die Altägypter war die Stunde das kürzeste Zeitmaß.

Die Altägypter kannten drei Arten von Zeitmessern: für den Tag die Sonnenuhr, für die Nacht die Sternenuhr und für beide die Wasseruhr. Uhren mit Sand oder anderen Stoffen kannte man nicht.

Die Wasseruhren kann man in 2 Gruppen teilen: in die Auslaufuhren, von denen eine ganze Reihe uns erhalten ist, und in die Einlaufuhren, die nur in einem einzigen Exemplar noch vorhanden sein dürften.

Auslaufuhr. Die älteste auf uns gekommene Auslaufuhr stammt aus der Zeit um die Wende des 14. Jahrhunderts v. Chr. und befindet sich jetzt in Kairo[1]). Das Alabastergefäß ist 34,4 cm hoch und faßt ungefähr 28 l. Die Außenwand ist mit Verzierungen versehen, die Sternbilder und Gottheiten, die mit der Zeit in Zusammenhang stehen, darstellen. Die Öffnung, aus der das Wasser ausfließt, sitzt nicht unweit vom Boden des Gefäßes. Das Prinzip der Auslaufuhr besteht darin, daß während eines Tages oder einer Nacht eine bestimmte Menge Wasser ausläuft. Da die beiden Zeiten im Laufe eines Jahres verschiedene Längen haben, ist auch die Wassermenge verschieden, ebenso die während einer Stunde, dem 12. Teil einer solchen Zeit, ausfließende Menge. Die Wassermenge, die an einem der 12 Monate in das Gefäß zu füllen ist, erkennt man an den einzelnen Marken, die auf der Innenwand des Gefäßes für jeden Monat angebracht sind. Senkrecht unter jeder dieser Füllmarken sind in gleichen Abständen die Marken für die betreffenden einzelnen Stunden. Erreicht der Wasserspiegel eine solche Marke, so ist eine gewisse Zahl von Stunden verflossen. Bei den späteren Uhren sind die Marken durch Striche ersetzt, wodurch eine fehlerfreie Ablesung des Wasserstandes ermöglicht wird. Eine Verbesserung im Laufe der Zeiten zeigt auch die gegenseitige Lage der einzelnen Füllmarken. Auf den Uhren der früheren Zeit nahm die Entfernung der Marken, vom Boden aus gerechnet, um einen bestimmten Betrag zu bzw. ab, während bei den späteren Uhren die Entfernungen in dem Verhältnis 1 : 2 : 3 sich änderten, was ziemlich der Zu- bzw. Abnahme der Tage in den einzelnen Monaten in der dortigen Gegend entsprach. Der Verfasser zeigt, daß die in den einzelnen Stunden auslaufenden Wassermengen bei der Form der Gefäße nicht gleich waren, der Tag also nicht in 12 gleiche Stunden

[1]) Amenemhe ʿt, der um die Mitte des 16. Jahrhunderts v. Chr. lebte, gibt sich als Erfinder solcher Wasseruhren aus, wie aus einer erhaltenen Inschrift hervorgeht. Aus ihrem Inhalt kann man schließen, daß schon vor ihm Wasseruhren bekannt waren.

geteilt wurde. Die ersten Stunden waren zu lang, die letzten zu kurz, so daß die Mitte des Zeitintervalls $^3/_4$ Stunden zu spät angegeben wurde. Borchardt schließt daraus, daß diese Uhren nur bei Nacht verwendet wurden, da bei Tage die verspätete Angabe des Mittags hätte wahrgenommen werden müssen. Einige der Uhren gaben die Stunden der bürgerlichen Nacht an, andere die der astronomischen Nacht. Ihre Monate entsprachen dem astronomischen, die der anderen Uhren dem alexandrinischen Kalenderjahr.

Einlaufuhr. Das Exemplar der 2. Art der Wasseruhren, der Einlaufuhren, ist in Kairo, ist aber nur ein Stück der ganzen Uhr. Es ist ein zylindrisches Gefäß aus weißem Kalkstein von ca. 36 cm Höhe und 8 l Fassungsvermögen. Zu der vollständigen Uhr gehört noch eine Säule, die auf das Gefäß aufgesetzt wird und die gleichen Stundenlinien trägt wie die Innenfläche des Gefäßes. Diese sind für jeden Monat in konstantem gegenseitigen Abstand gezeichnet, was bei der zylindrischen Form des Gefäßes richtig ist. Die Füllungsmarken, bis zu denen das Gefäß bei Ablauf der 12. Stunde sich füllen muß, haben vom Boden Abstände, deren Verhältnis den auf den späteren Auslaufuhren entspricht. Ein weiterer Bestandteil der Uhr ist ein Schwimmer mit einem Zeiger, der längs der geteilten Säule emporsteigt, wenn das Wasser zufließt. Sind auch bei dieser Uhr die Stundenlängen unter sich gleich lang, so ist doch die von ihr angegebene astronomische Nachtlänge nicht für alle Tage des Jahres richtig.

Sonnenuhren. Die einfachste Methode zur Bestimmung der Zeit bei Tag dürfte in dem Messen der Schattenlänge eines lotrechten Gegenstandes gewesen sein. Wenigstens weisen aufgefundene Tabellen darauf hin. Bis ins 16. Jahrhundert zurück reichen die eigentlichen Sonnenuhren mit feststehendem Gnomon und festen Marken für seine Schattenlängen zu den verschiedenen Stunden. Die einfachste Form ist ein Lineal, vierkantig, 30 cm lang, mit einem dazu senkrechten Aufsatzzapfen an dem einen Ende als Schattenwerfer. In einer Durchbohrung in der Mitte der Seitenfläche des Zapfens kann ein Lot befestigt werden, das bei wagrechter Einstellung des Lineals auf eine Mittellinie der Seitenfläche des Zapfens fällt. Auf der Oberfläche des Lineals sind 5 Kreisbögen gezogen, deren Abstände vom Fußpunkt des Zapfens aus wachsen. Wie aus den Inschriften neben diesen Linien hervorgeht, sind sie die Stundenlinien. Die 6. Stundenlinie, die Mittagslinie, fällt in den Fußpunkt des Zapfens. Bei der Messung wurde das Lineal in die Ost-Westrichtung gelegt. Der Schatten des Aufsatzzapfens nahm dann im Laufe des Tages ab, wurde zu Mittag Null, um dann wieder zuzunehmen. Fiel der Schatten auf das Lineal, so gab er die Schattenlänge und die Stunde an der Teilung an. Aber nur um die Tag- und Nachtgleichen fällt der Schatten auf das Lineal, in den anderen Jahreszeiten daneben. Borchardt vermutet, daß zu dieser Uhr ein zweites Lineal gehörte, das auf den Aufsatzzapfen gelegt wurde. Dieses entwarf einen breiten Schatten, der immer das erstere Lineal traf. Da aber trotz dieser Annahme die Teilung auf dem Lineal nicht stimmt, geht Borchardt in seinen Annahmen noch weiter. Das 2. Lineal sollte eine ganz bestimmte Gestalt haben — allerdings eine Form, die die „Weiheellen“ zeigten — und nach Ablauf einer bestimmten Zahl von Stunden auf dem Aufsatzzapfen gedreht werden, wodurch die Schatten werfende Kante sich ändert. So scharfsinnig diese Annahme ist, so dürfte sie doch nicht zutreffend sein. Wie aus allem hervorgeht, waren die Altägypter doch zu wenig durchgebildet, um ihnen einen so feinen Gedanken zutrauen zu können. Ferner stimmt trotz allem die Skala doch nur für die Zeit um die Tag- und Nachtgleichen. Sollte die Skala vielleicht nur eine schematische Darstellung sein? Borchardt bespricht noch ein in Kairo befindliches Modell einer Sonnenuhr aus der Spätzeit, bei der 3 Auffangflächen vorhanden sind, eine horizontale, eine treppenförmige und eine schräge. Obwohl die Teile auf der Skala der ersten Fläche nicht gleich weit voneinander entfernt sind, liefert sie ebensowenig wie die auf der 2. Fläche eine richtige Stundenangabe, die 3. Fläche zeigt überhaupt keine Skala. Neben diesen Standuhren gab es auch bewegliche Sonnenuhren mit schräger Auffangfläche, von denen 4 Stück erhalten sind. Die eine dürfte aus der Zeit 300 v. Chr. stammen. Der Gnomon der Uhr, ein viereckiger Klotz, wurde so gegen die Sonne gestellt, daß seine beiden Seitenflächen im Schatten lagen. Der Schatten der der Sonne abgekehrten Seite fiel immer auf die Skala der Auffangflächen. Diese enthielt für jeden Monat die 6 Stundenlinien. Aber auch diese Skalen zeigen starke Fehler.

Während die bisher besprochenen Sonnenuhren auf die Ermittlung der Schattenlängen

abzielten, gab es auch solche, bei denen die Richtung des Schattens die Zeitbestimmung gestattete. Auch sie sind schon sehr alt, wie die in Geser (Palästina) aufgefundene Uhr zeigt. Denn sie stammt aus dem 13. Jahrhundert v. Chr. Sie ist eine Elfenbeinscheibe von 57 mm größter Abmessung. Ihre eine Seite zeigt eine bildliche Darstellung. Auf der anderen Seite, dem Zifferblatt, ist eine Gerade gezogen, von deren Mitte Radien ausgehen, die untereinander einen Winkel von je 15 Grad bilden. In diese Mitte wurde senkrecht zum Zifferblatt ein Gnomon gesteckt. Die Scheibe wurde in der Ost-Westrichtung aufgehängt, so daß der Gnomon in die Nord-Südrichtung zu liegen kam, und die oben genannte Gerade horizontal gehalten, was mittels eines Lotes geprüft werden konnte. Der Schatten des Gnomons gab bei der Koinzidenz mit einem der Radien die betreffende Stunde an. Da angenommen ist, daß der Schatten eines in die Nord-Südrichtung gelegten Stiftes in gleichen Zeiten gleiche Winkel auf einer zum Stift senkrechten Ebene beschreibt, so konnte auch diese Uhr keine richtigen Zeitangaben liefern, da die Annahme nur für den Äquator, nicht aber für die ägyptischen Breiten zutrifft.

Sternuhr. Zur Sternuhr gehört vor allem eine Tabelle, in der die Stellungen besonderer Fixsterne in den einzelnen Nachtstunden der verschiedenen Monate verzeichnet waren. Zur leichteren Beobachtung wurden Sternstellungen in der Nähe des Ortsmeridians gewählt. Sie selbst wurden mit einem Instrument festgestellt, das aus zwei Teilen bestand; der eine war der Sonnenuhr mit wagrechter Auffangfläche ähnlich, der andere, die Visiervorrichtung, bestand aus dem unteren Stück einer Palmrippe, das am breiten Ende einen schmalen längslaufenden Schlitz zeigte. Eine solche Sternenuhr befindet sich im Berliner Museum. Sie dürfte aus dem 6. Jahrhundert v. Chr. stammen. Aber schon viel früher war dieses Instrument im Gebrauch, sicher schon um das Jahr 3900 v. Chr., wie aus Abbildungen dieser Zeitperiode hervorgeht. Zur Benutzung dieses Instrumentes waren zwei Beobachter nötig. Der eine stellte sich im Süden, der andere im Norden auf. Sie visierten sich gegenseitig in die Meridianrichtung ein, indem sie sich, durch den Schlitz sehend, mittels des Lotes am anderen Instrumententeil einander in die vertikale Ebene durch den Nordstern einwinkten. Beide konnten Sternstellungen beobachten, wobei als Richtlinien die durch den rechten oder den linken Ellenbogen oder durch das rechte oder linke Ohr usw. gehenden Lote dienten. Aus der Tabelle, in der auf diese Bestimmungsstücke Rücksicht genommen war, konnte man die Stunden entnehmen. Die Tabelle bestand aus 24 Teiltafeln, die für je 15 Tage der 12 Monate Geltung hatten. Jede Tafel enthielt die Angabe von 13 Sternstellungen für Anfang und Ende der 12 Nachtstunden. Die Größe der Fehler dieser Sternuhren wurde noch nicht ermittelt; jedenfalls sind ihre Angaben doch recht ungenau und ganz individuell. Sie müssen auch die gleichen Fehler zeigen, wie die Uhren, die zur Aufstellung der Tabellen benutzt wurden.

Aus den vorstehenden Ausführungen ersehen wir, daß die Altägypter nur eine einzige Uhr, die Einlaufuhr, besessen haben, die ihnen eine richtige Zeiteinteilung gab. Trotzdem korrigierten sie nicht die anderen Uhren, entweder weil sie den verschiedenen Gang der Uhren nicht erkannten, oder weil sie die richtig gehende Uhr nicht herausfinden, oder weil sie den Grund der Abweichungen nicht feststellen konnten.

Jeder Leser dieses hervorragenden, tief schürfenden Buches würde es wohl angenehm empfinden, wenn der Verfasser auch die Art und Weise der Konstruktion der verschiedenen Schattenuhren angegeben hätte. *Dr. J. Frank.*

H. Dock, Photogrammetrie und Stereophotogrammetrie. (Sammlung Göschen, Nr. 699) 2. Aufl., 133 S. 12°. Mit Abb. Berlin 1923. Vereinigg. wissenschaftl. Verleger.

Das hübsche kleine Buch, in erster Aufl. vor 10 Jahren herausgekommen, hat gegen diese nicht unwesentliche Veränderungen und, obwohl der Umfang fast genau derselbe blieb, Vervollständigungen aufzuweisen.

Im ersten Abschnitt „Photogrammetrie" z. B. ist das 2. Kap. (Instrumente älterer Bauart) ziemlich gekürzt, im 3. Kap. ein kurzer (praktisch freilich wenig wichtiger) Zusatz über Spiegelphotogrammetrie (Zaar, Doležal u. a.) hinzugekommen, im 4. Kap. ein besonderer Paragraph über die Konstruktion des Plans beigefügt, aus dem übrigens hauptsächlich nur zu ersehen ist, daß die Phototopographie eigentlich erst durch die Stereophototopographie (Pulfrich) recht lebensfähig wurde.

So ist auch der zweite Abschnitt, der diese neuere Art der Photogrammetrie behandelt, fast um die Hälfte seines Umfangs in der 1. Aufl. des Büchleins erweitert worden. Daß hier der Nachdruck auf die Anwendung des Stereoautographen gelegt wird (Orel-Zeiss; die Modelle von 1909, 1911 und 1914 werden behandelt) ist selbstverständlich; es ist freilich nicht in jeder Beziehung erwünscht, daß der Leser den Eindruck erhält, daß die jetzt ganz unerschwinglich gewordenen Preise dieses die Planbearbeitung automatisierenden Instruments das ganze Messungsverfahren der Stereophototachymetrie vom festen Erdboden aus auf die wenigen Stellen der „Stereographik" monopolisiert haben.

Der Bestimmung des Büchleins entsprechend wird die Phototopographie aus der Luft nur anhangsweise (5 S.) erwähnt. Diese topographische Methode wird jedoch in ganz naher Zukunft und besonders für bis jetzt kartenlose oder kartenarme Länder zweifellos große Bedeutung gewinnen; es hätten wohl selbst auch in der ganz kurzen Anmerkung bei den Instrumenten, durch die auch für dieses neue Aufnahmeverfahren die Ausarbeitung des Plans automatisiert wird, neben dem Jenaer Stereoplanigraphen (Bauersfeld) als „zweckmäßigster, überlegenster und leistungsfähigster Lösung aller bisherigen derartigen Konstruktionen" die zwei anderen wichtigen deutschen Lösungen wenigstens genannt werden können: der Autokartograph von Hugershoff-Heyde, der ziemlich lange vor dem Stereoplanigraphen gebrauchsbereit fertiggestellt war, und der Gassersche Projektionsapparat der „Inag" (Intern. aërogeod. Gesellsch.). Das zuletzt genannte Verfahren, das zweifellos „den Vorzug großer Einfachheit und Durchsichtigkeit hat" (vgl. O. Lacmann in „Das photogrammetrische Vermessungsverfahren der Internat. aërogeod. Gesellschaft" im „*Zentralblatt der Bauverwaltung*, **43.** *Nr. 45/46. 1923*) wird deshalb sicher, wenn es auch augenblicklich noch nicht in allen Einzelheiten in die endgültige Form gebracht ist, wie dies bei den zwei anderen Methoden zutrifft, weitere Verbesserungen erfahren, die besonders auch die Auswertung der Höhenverhältnisse des Geländes betreffen werden, während es für den Lageplan in seinen Senkrechtaufnahmen ohnehin einen Vorzug vor den Schrägaufnahmen hat.

Dem Ref. möge gestattet sein, bei dieser Gelegenheit, wenn auch nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem besprochenen kleinen Buch, so doch im Hinblick auf zahlreiche Aufsätze usf., die z. T. auch in *dieser Zeitschr.* erschienen sind, den Wunsch auszusprechen, daß der offensichtliche Vorsprung, den deutsche Konstruktionen aërotopographischer Instrumente und deutsche Messungsmethoden in diesem neuen Zweig der Topographie im Vergleich mit allen übrigen Ländern gewonnen haben, ausländischen, besonders überseeischen „Interessenten" nicht dadurch wieder zweifelhaft gemacht werde, daß in der „Fachpresse" oder durch besonders bestellte „Pressevertreter" eine dieser deutschen Erfindungen als allen andern grundsätzlich und unermeßbar überlegen und als die allein in Betracht kommende gepriesen oder (und ebenso häufig) an allen andern Einrichtungen kein „guter Faden gelassen" wird. Oft genug sind ja doch bei der einen Konstruktion wesentliche Ideen einer andern mit verwendet; und alle bis jetzt vorliegenden Versuchs- und Probemessungen sind, soweit wenigstens dem Ref. bekannt geworden ist, weder in der Genauigkeitsdiskussion noch in Beziehung auf die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Verfahren genügend ausgedehnt und nicht genügend auf die z. B. für verschiedene Zwecke recht verschiedenen Anforderungen an den Plan oder die Karte Rücksicht nehmend (ist z. B. die Richtigkeit des Grundrisses oder die Genauigkeit der Höhendarstellung für diesen oder jenen Zweck wichtiger? Wie stellen sich die Kosten der vorbereitenden terrestrischen Messungen zu denen der aërophototopographischen Aufnahme?), ebenso nicht genügend die verschiedenen natürlichen topographischen Verhältnisse berücksichtigend, als daß so allgemeine und exklusive Lobpreisungs- oder Verwerfungsurteile begründet werden könnten, wie sie in der bisherigen deutschen aërotopographischen Literatur nicht selten zu lesen sind. Ich meine, Zusammenschluß oder mindestens gegenseitige Förderung dieser deutschen Bestrebungen, vielleicht besonders im Sinne der Spezialisierung der einzelnen „Systeme" für besondere Zwecke und Verhältnisse, wäre dem Ausland gegenüber eine bessere Parole als grundsätzliche gegenseitige Bekämpfung. *Hammer.*

J. Fr. Schroeter, Spezieller Kanon der zentralen Sonnen- und Mondfinsternisse, welche innerhalb des Zeitraumes von 600 bis 1800 n. Chr. in Europa sichtbar waren. Mit 300 Karten.

Herausgegeben auf Staatskosten durch die Gesellsch. d. Wiss. in Kristiania. 8°, XXIV, 305 S. Kristiania, Jacob Dybwad, 1923.

In dem hochbedeutenden „Kanon der Finsternisse" betitelten Werk Th. v. Oppolzers sind für die sämtlichen zwischen 1206 v. Chr. und 2161 n. Chr. vorgekommenen und noch vorkommenden Sonnen- und Mondfinsternisse, 8000 bzw. 5200 an der Zahl, die für die Kenntnis ihres Verlaufes nötigen Zahlenwerte gegeben und auf 160 Tafeln die Zentralkurven der Sonnenfinsternisse, das sind die Kurven auf der Erdoberfläche, von deren Punkten aus die Sonnenfinsternisse total oder ringförmig erschienen oder erscheinen werden, eingezeichnet. Die Grundlagen für die Berechnung dieser Finsternisse waren jedoch wegen nicht ganz genauer Kenntnis des Mondlaufes in weit zurückliegender Zeit noch mit Mängeln behaftet, weshalb die mit den Angaben des Oppolzerschen Werkes berechneten, auf ältere Finsternisse sich beziehenden Verfinsterungszeiten gewisser Korrektionen bedurften und auch die Gebiete, von wo aus die Erscheinung zu beobachten gewesen sein sollte, eine Verlagerung erfahren mußten.

Bekanntlich dienen die Finsternisse dem Geschichtsforscher dazu, die Zeit von Geschehnissen, welche mit Finsternissen zusammenfielen, festzulegen und dadurch die sonst so verworrene Chronologie des Altertums in Ordnung zu bringen. F. K. Ginzel hat daher für das Ländergebiet des klassischen Altertums und die Zeit von 900 v. Chr. bis 600 n. Chr. einen „Speziellen Kanon der Sonnen- und Mondfinsternisse" verfaßt, in welchem die Oppolzerschen Werte verbessert sind, freilich nicht auf Grund einer richtigen oder schärfer durchgearbeiteten Mondtheorie, sondern nur auf Grund der Erfahrung. So unbefriedigend dieser Zustand für den Astronom sein mag, so genügt das Ginzelsche Werk doch vollständig dem Geschichtsforscher.

Als eine Forsetzung dieses Werkes kann das uns vorliegende Schroetersche Werk aufgefaßt werden, welches an Stelle der Oppolzerschen Werte verbesserte Werte für die zentralen Finsternisse gibt, die sich zwischen 600 und 1800 n. Chr. innerhalb Europas, Kleinasiens und des nordafrikanischen Küstengebietes zugetragen haben. Ferner sind für die 300 zentralen Sonnenfinsternisse, welche in dem genannten Zeitraum und innerhalb des angeführten Ländergebietes sichtbar waren, auf 300 Kärtchen die Flächenstreifen verzeichnet, innerhalb deren sie total oder ringförmig gesehen werden konnten, auch ist die nördliche und südliche Kurve angegeben, von wo aus gesehen die Finsternis 9 Zoll betrug. Mit diesem etwas sonderbaren Ausdruck pflegt man bekanntlich die Größe der Finsternis anzugeben, indem man den Durchmesser der verfinsterten Sonnen- oder Mondscheibe in 12 gleiche Teile, „Zolle", einteilt und nun angibt, wie viel solcher Teile verfinstert werden. Erst bei einer mindestens 9zölligen Sonnenfinsternis pflegt man eine Abnahme des Tageslichtes zu bemerken, auch kann man bei geringerer Verfinsterung, wenn man mit unbewaffnetem, nicht durch ein Blendglas geschütztem Auge nach der Sonne sieht, von der teilweisen Bedeckung der Sonnenscheibe nichts bemerken. Jene Kurven bedeuten daher die Grenzen der Auffälligkeit der Finsternis.

Was die Mondfinsternisse anbetrifft, deren 671 in dem betrachteten Ländergebiet während der 1200 Jahre als totale sichtbar waren, so sind die Zeiten für Anfang und Ende der Verfinsterung, für Anfang und Ende der Totalität und für die Mitte der Verfinsterung unmittelbar dem Werke zu entnehmen. Ebenso ist, wenn auch nicht in graphischer Darstellung, so doch durch Angabe der zueinander gehörigen geographischen Längen und Breiten die Lage der Kurven angegeben, von wo aus bei Mondaufgang oder bei Monduntergang — es kann immer nur eine der beiden Kurven in das in Betracht kommende beschränkte Gebiet der Erdoberfläche fallen — die oben genannten fünf hauptsächlichsten Phasen der Verfinsterung zu beobachten waren.

Otto Knopf.

Buchhändler-Schlüsselzahl am 15. September 1923: **14000000.**

Die Schlüsselzahl drückt die im Buchhandel eingetretene Entwertung aus; die Grundzahl entspricht dem ungefähren Vorkriegspreis, Grundzahl (GZ.) vervielfacht mit Schlüsselzahl (S.) ergibt den Verkaufspreis.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena. **W. Sartorius** in Göttingen, **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

9. Heft: September.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1923.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im Inlande durch den Buchhandel oder unmittelbar von der Verlagshandlung bezogen werden. Diese Stellen erteilen auch Auskunft über den jeweiligen monatlichen Bezugspreis.

Im Auslande ist die „Zeitschrift für Instrumentenkunde“ nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlage zu beziehen; sie kostet bei portofreier Zustellung vierteljährlich 1,95 Dollar.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei 1/4 1/2 1/1 Seite Umfang
Grundzahl 31.25 62.50 125.— Mark
mal Buchhändler-Schlüsselzahl vom Tage d. Erscheinens.
Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
10 20 % Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: Grundzahl 0,28 × Buchhändler-Schlüsselzahl.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Rücksendung von Bildstöcken erfolgt zu Lasten der Eigentümer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro-Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118 935 Julius Springer.

Buchhändler-Schlüsselzahl am 2. Oktober 1923: 50000000.

Ab 1. Oktober 1923 kein Bezug mehr durch das Postzeitungsamt!

Die ständig steigenden Kosten der gesamten Herstellung der **„Zeitschrift für Instrumentenkunde“** lassen eine Festsetzung des Preises auf Wochen im voraus, wie dies der Postzeitungsverkehr erfordert, nicht zu. Die Zeitschrift ist somit vom 1. Oktober 1923 aus dem Postzeitungsverkehr zurückgezogen worden. Es empfiehlt sich, sie nunmehr durch eine Buchhandlung oder direkt vom Verlage zu beziehen.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **September 1923.** Neuntes Heft.

Über regelmäßige Schätzungsfehler und die sie erzeugenden Faktoren.

Von
E. Schottländer in Charlottenburg.

Man findet in der Literatur über Schätzungen und Schätzungsfehler häufig Gesetze aufgestellt, die einander widersprechen, und wenn man alle diese Angaben nebeneinander stellt, so muß man sagen, daß eine Klärung bisher nicht erfolgt ist. Zu einer solchen beizutragen ist der Zweck der vorliegenden Arbeit.

Sehr viele Verfasser haben geglaubt, aus ausschließlich eigenen Beobachtungsreihen, die sie oft nur an einem bestimmten Instrument erhielten, allgemein geltende Gesetze über die Schätzungsfehler folgern zu dürfen. Demgegenüber ist festzustellen: verschiedene Meßskalen und Meßmethoden haben verschiedene Gesetze (deren Unterschied jedoch nicht immer wesentlich sein muß). Bestimmend für die Gestalt der Schätzungskurven und die Fehlerverteilung ist vor allem die Intervallbreite in Verbindung mit der Strichstärke; dazu kommt die Lage der Skala zum Auge und die Art der Striche, ob sie vertieft oder flach aufgetragen, ob sie hell oder dunkel, ob sie teilweise stärker und schwächer gehalten sind usw. Auch müssen wir die Skalen, bei denen die vom Zeigerstrich geteilten Flächen gegeneinander abgeschätzt werden, von denen trennen, bei denen man den Strichabstand von den Intervallenden schätzt, und es ist nicht unwahrscheinlich, daß Skalen von sonst gleicher Beschaffenheit verschiedene Kurven ergeben, je nachdem die Teilstriche parallel oder konvergent sind. Auch wird die Ablesung davon beeinflußt, ob man mit freiem Auge oder mit Lupe bzw. Fernrohr abgelesen hat. Wenn genügend Untersuchungen, bei denen alle diese Umstände systematisch berücksichtigt und mitgeteilt werden, vorliegen, wird man ein endgültiges Bild von ihrem Einfluß auf die Schätzung gewinnen.

Man wird daher auch erwarten müssen, daß die sogenannte Dezimalgleichung eines Beobachters mit den verschiedenen Instrumenten verschiedene Formen annehmen wird, da sie ja durch zweierlei hervorgerufen wird, 1. durch die Vorliebe des Beobachters für gewisse Zahlen, und 2. durch den Einfluß der Instrumententeilung. Je nachdem, welcher Teileinfluß überwiegt, wird die Veränderlichkeit groß oder klein sein. Am besten beweisen dies folgende Beispiele, bei denen in üblicher Weise, die auf die Skalenunterteile entfallenden Schätzungen als Ordinaten aufgetragen sind.

Beobachter *W* hatte am Richterschen Kippthermometer an der Haupt- und Nebenthermometerskala nahezu gleichviele Schätzungen ausgeführt. Die Skalen waren, wie ich weiter unten erläutern wer sede,hr verschieden. Der Unterschied beider Kurven zeigt sich deutlich. (Fig. 1.) (1, Literaturnachweis.)

Etwas weniger deutlich erscheint es an den zwei Kurven (Fig. 2) des Beobachters *D*, dessen Resultate Großmann angibt und für die ich die Zahlen der Lüdemannschen Arbeit (2) entnommen habe. Aber auch hier haben wir vor allem bei der Null einen merkbaren Unterschied, insbesondere, wenn man die Übereinstimmung der beiden Kurven dieses Beobachters für Schätzungen an der Mikroskoptrommel sieht. Die Überschätzung der Null bei der Libelle zeigt den Einfluß des bei ihr stärker zur Geltung kommenden Teilstrichs. Das Gleiche haben wir bei J. Plassmann (2) (Fig. 3). Die Figuren zeigen, daß der Beobachter die Eigenart besitzt, die Null zu vermeiden, um den Anschein sorgfältigerer Schätzung zu geben, und die geraden Zahlen zu bevorzugen, daß aber bei Verwendung verschiedener Skalen diese, seine Zahlenvorliebe, nicht gleichmäßig zum Ausdruck kommen kann.

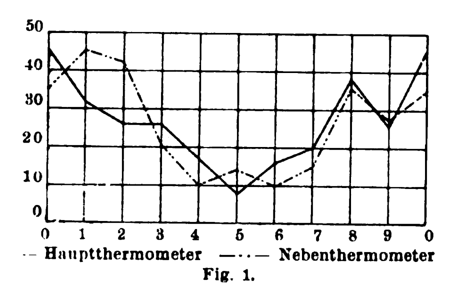


Fig. 1.

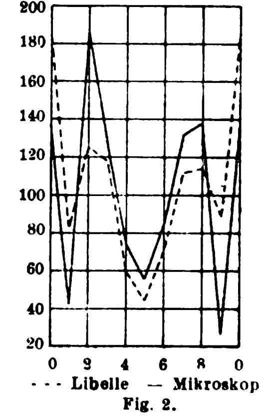


Fig. 2.

Bezeichnend sind auch die Kurven Lüdemanns (2, S. 6 u. f.). In den *B*-Kurven, vor allem bei B_1 erkennt man seine Vorliebe für die 4 und 6, die sich bei der Winkelmessung schon vorfand (3), wieder. Ein Vergleich beweist erneut: verschiedene Skalen — verschiedene Kurvenform beim gleichen Beobachter.

Fig. 4 zeigt ein Beispiel für eine derartige Zahlenbevorzugung, die nicht durch Fernrohr, Intervall usw. verursacht sein kann, sondern nur durch die Vorliebe des Beobachters für gewisse Zahlen Es handelt sich um 533 Schätzungen des Bewölkungsgrades, die vom Framheimer Beobachter (1912) ausgeführt sind (4). Daß nach dem Rande zu übergeschätzt ist, liegt an den besonderen meteorologischen Verhältnissen und der Höhenlage der Umgebung. Wesentlich ist hier, daß speziell die graden Zahlen ganz klar bevorzugt sind; diese Vorliebe des Beobachters findet sich auch in der dort gegebenen Barometerkurve (Fig. 13b). Übrigens zeigte auch Sauber in einer Arbeit „Über die Gleichmäßigkeit des psychischen Geschehens (*Fortschr. d. Psychologie 1913*), daß sowohl römische auf Schätzungen beruhende Altersangaben als auch Angaben, die bei Volkszählungen in Alabama, Michigan und den Vereinigten Staaten erhalten wurden, eine deutliche Bevorzugung der 2 und 8 erkennen lassen. Es scheint sich also dabei um eine weitverbreitete Zahlenvorliebe zu handeln und man kann mög-

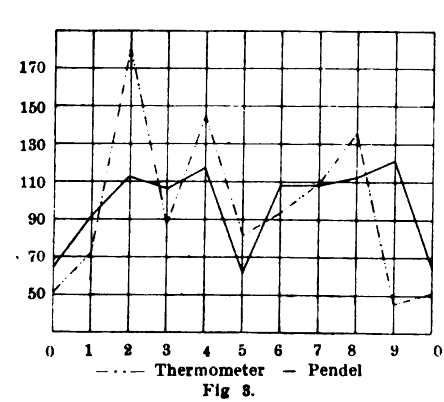


Fig 3.

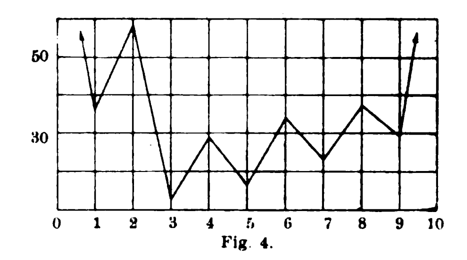


Fig. 4.

licherweise die besonders starke Überschätzung der 2 und 8 in den Kurven hierauf zurückführen.

Es müssen somit alle oben gekennzeichneten Versuche fehlschlagen; der richtige Weg ist der, daß man durch Kombination der Kurven möglichst vieler Beobachter, die je am gleichartigen Instrument gemacht sind, die von den individuellen Fehlern des einzelnen Beobachters in hohem Grade freie „Instrumentenkurve“ ermittelt, so den Einfluß der dem Instrument und der Methode eigenen Besonderheiten erkennt und damit die für die einzelnen Fälle geltenden Gesetze und auf diese Weise einen Wertmesser und ein Mittel zur Messungskritik und zum Instrumentenbau erhält.

Die Anzahl der benutzten Werte ist bei einem Teil der beigefügten Kurven gering. Daß trotzdem eine zufällige Zehntelhäufung unwahrscheinlich ist, zeigte schon Lüdemann in seiner Arbeit (3) durch Vergleich der von ihm aus 8200 und aus 1000 Werten abgeleiteten persönlichen Schätzungskurven (Fig. 5a). Dasselbe beweisen die Kurven 5b und 5c, die ich während der Zusammenstellung des Materials für die Kippthermometeruntersuchung gezeichnet habe, so wie ich die Protokolle zeitlich geordnet vorfand. Die zugrundeliegenden Beobachtungszahlen sind beigeschrieben, und wenn ich den Einfluß des Beobachters *W*, von dem ein Drittel des Materials herrührt, entsprechend reduziere, so tritt noch deutlicher hervor, daß der Kurventyp schon bei sehr geringer Beobachtungszahl sich klar zeigt. Es folgt daraus, daß man nicht, wie es oft gemacht wurde, 10000 und 20000 Zahlen zusammenstellen muß.

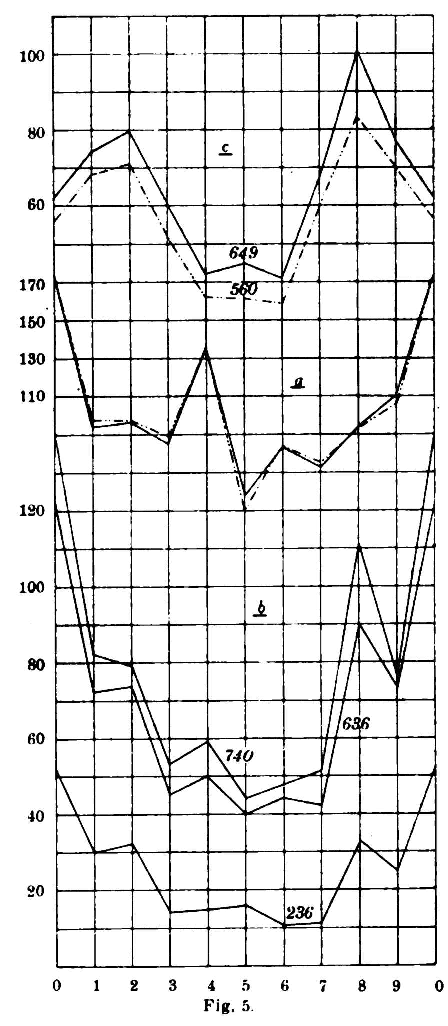


Fig. 5.

Zu meinen Untersuchungen stand mir nur Material zur Verfügung, bei dem ausschließlich Längen geschätzt wurden. — Untersuchungen über Flächenschätzungen liegen von Reinhertz (8) und Kummer (9) vor, jedoch sind die Messungen immer nur von einem Beobachter ausgeführt, können daher aus oben angeführten Gründen nur beschränkte Bedeutung haben.

Reinhertz' Untersuchungen veranlaßten ihn u. a. zu folgenden Schlußfolgerungen: Die Fadenstärke im Fernrohr kann bei kleinen scheinbaren Feldgrößen die Genauigkeit erheblich beeinflussen. Für kleine Intervalle von 0,3—0,4 mm wächstder relative Fehler mit stärker werdendem Faden. Für Intervalle von 0,5—0,8 mm ist der Fehler für eine mittlere Fadenstärke von 0,15 mm kleiner als für geringere und größere Fadenstärke. D. h. also Zeigerstrich und Intervallbreite müssen ein günstiges Verhältnis haben.

Anläßlich gleichartiger Untersuchungen stellte Kummer fest, daß ihm für kurze Zielweiten von 0—30 m die in $^1/_2$ cm geteilte Latte bessere Ergebnisse lieferte, als die in $^1/_1$ cm geteilte. Er erhält für den einseitigen Fehler deutlich verschiedene Kurven bei verschiedenen Zielweiten.

Für kurze Zielweiten ist also bei Kummer das Skalenfeld im Verhältnis zum Zeigerstrich zu groß.

Das Zusammenwirken von Zeigerstrich und Intervallbreite auf die Schätzungen zeigt sich bei beiden ganz deutlich.

Naturgemäß muß es auch eine Rolle spielen, welche Farbe Zeigerstrich und zu teilendes Intervall haben, da ein weißes Objekt auf dunklem Grunde scheinbar größer ist als ein dunkles Objekt auf hellem Grunde. Da jedoch hauptsächlich das Verhältnis von Intervallbreite und Strichstärke das Resultat beeinflußt, kann man nicht allgemein sagen, ein helles Objekt auf dunklem Grunde sei für Mitteneinstellung günstiger.

Die Kurven, bei denen sämtliche Zehntel geschätzt werden, möchte ich die Grundkurven nennen, da man aus ihnen die für entsprechende $^1/_2$-, $^1/_4$- und $^1/_5$-Teilungen geltenden Kurven ableiten kann. Man schätzt ja auch bei diesen Teilungen im allgemeinen $^1/_{10}$ und verwandelt diese in Fünftel, Halbe usw.

An den folgenden Beispielen werde ich den Einfluß der einzelnen Faktoren und die Art der Untersuchungen demonstrieren.

I. Grundkurven.

Fig. 6, Kurve a zeigt den Typ für das Richtersche Hauptthermometer, b den des Nebenthermometers. Beide Kurven sind aus der gleichen Anzahl von Schätzungen erhalten. Von den ursprünglich 740 der Kurve a habe ich 94 des Beobachters *M* abgezogen, da er bei der b-Kurve 94 Schätzungen weniger ausgeführt hatte und ich

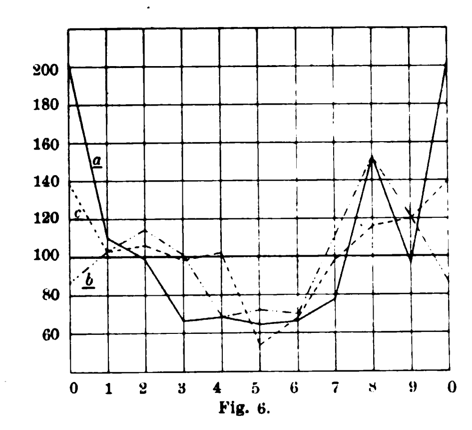


Fig. 6.

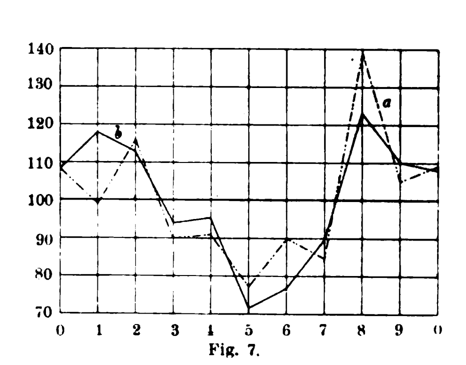


Fig. 7.

so etwaigen Einwänden begegnen wollte. a und b sind von denselben Beobachtern geschätzt; mit jeder Hauptthermometerschätzung war eine Nebenthermometerschätzung verbunden. Die Teilstriche eines Hauptthermometers habe ich auf der Teilmaschine untersucht; die Strichstärke schwankte etwas; sie betrug im Durchschnitt 0,056 mm, das Intervall 0,436 mm, das freie Intervall 0,38 mm. Die Striche, die schwarz gefärbt waren, waren daher erheblich zu stark ausgefallen. Abgelesen wurde am Hauptthermometer mit einer Lupe, die zweieinhalbfach vergrößert. Der Teilstrichabstand des Nebenthermometers wurde geschätzt; er betrug annähernd 1,6 mm, die Teilstrichstärke war annähernd $>$ 0,1 mm, Farbe der Striche schwarz. Am Nebenthermometer wird ohne Lupe geschätzt.

Der Hauptunterschied beider Kurven zeigt sich bei der Null. Die erheblich zu große Strichstärke beim Hauptthermometer führt zu einer außerordentlichen Überschätzung der Null, während beim Nebenthermometer die Null untergeschätzt ist,

aber nicht in dem Maße, wie es ohne die allgemein zu bemerkende Tendenz zur Überschätzung der Teilstrichstelle der Fall wäre.

Interessant ist ein Vergleich mit den Kurven und Resultaten **Bauchs** (5), von denen ich glaube, gewisse Rückschlüsse auf meine Kurve ziehen zu dürfen.

Fig. 7 zeigt die Kurven **Bauchs**, die er an seinem Meßapparat erhielt. Die Gründe für die verschiedene Form der Schätzungskurve sind die verschiedene Stellung des Apparates und der Umstand, daß **Bauch** bei vertikal stehendem Apparat (a) an einer in Augenhöhe befindlichen Stelle ablesen ließ, während am horizontalen Apparat (b) an drei — davon zwei stark seitlich befindlichen — Stellen geschätzt wurde. Die Ähnlichkeit der Nebenthermometerkurve und der Kurve des horizontalstehenden Apparates ist sehr groß, zwischen den beiden anderen Kurven geringer. Fig. 8 zeigt die geglättete Kurve des einseitigen Fehlers, wobei *a*, *b* nur deren Zahl, a_1, b_1 auch ihre Größe berücksichtigt. In Fig. 9a und 9b (sowie 10) werden die richtigen Schätzungen durch die Kurve, die Falschschätzungen durch Pfeile, welche Anzahl und Größe der Fehler anzeigen, dargestellt. Wir sehen, daß die mittleren Zehntel häufig falsch geschätzt wurden, dagegen die Randwerte 8 bis 1 sehr günstig dastehen. Aus dem Vergleich der Fig. 8 und 9 folgt, daß man nicht daraus, daß der einseitige Fehler Null wird, schließen kann, das betreffende Zehntel sei für Schätzungen allgemein gut geeignet.

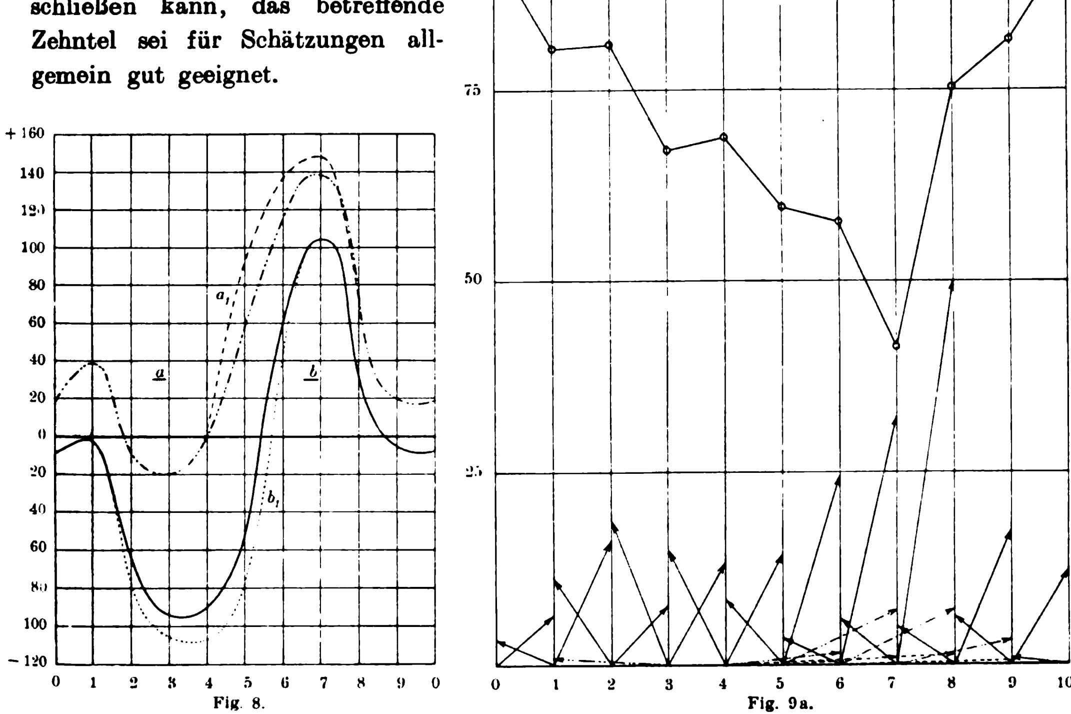


Fig. 8.

Fig. 9a.

Für Nivellements, bei denen nur die Genauigkeit der Abschlußstationen groß sein soll, ist, falls der einseitige Fehler bei einer gewissen Zielweite, Fadenstärke usw. bei der 5 besonders klein oder gleich Null ist, naturgemäß die Einstellung auf die fünf zu empfehlen. Kommt es aber auf jeden Einzelwert an, so liegt die Sache völlig anders. Hier ist es direkt falsch, den einseitigen Fehler als Maßstab für die Eignung einer Meßmethode zu nehmen. Alle derartigen „Gesetze“ sind abzulehnen. Fig. 10 zeigt ein ungefähres Verteilungsschema für die Hauptthermometerkurve. Die Zahl

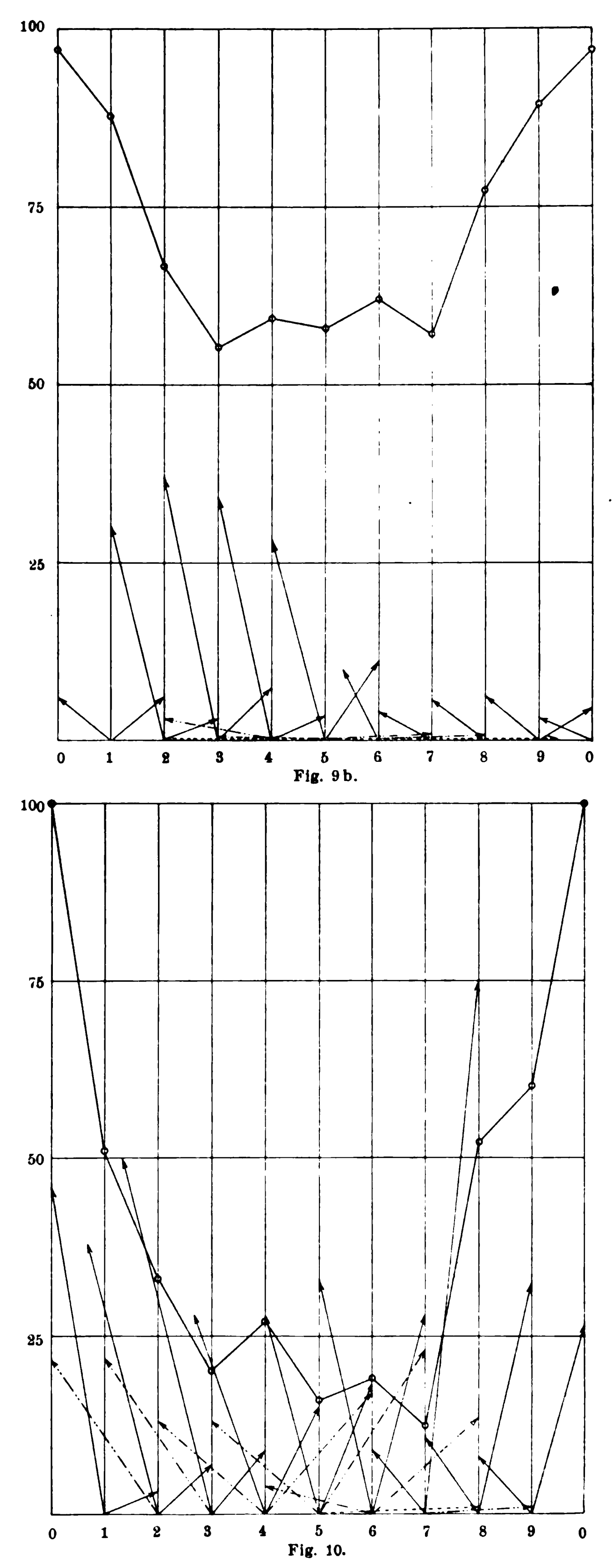


Fig. 9b.

Fig. 10.

der völlig richtigen Schätzungen ist daher nur als etwas über $40\,^0/_0$ anzunehmen, die Anzahl der Verschätzungen um $^2/_{100}\,^0$, annähernd $10\,^0/_0$, die Zahl der Falschschätzungen $^3/_{100}\,^0$, $0{,}1\,^0/_0$. Es werden nun zwar zwei Thermometer nebeneinander benutzt; es kann aber natürlich, insbesondere, da es sich um einen Beobachter handelt, die Schätzung nach derselben Richtung falsch sein, so daß ein Unterschied beider Werte nicht aufzutreten braucht, besonders, da beide reduziert werden; auch zerbricht manchmal das eine Thermometer, so daß man auf die Ablesung eines einzigen angewiesen ist. Auf die Strömungen der Tiefsee schließt man aus Temperatur- und Salzgehaltverteilung. $^1/_{100}\,^0$ kann hierbei bestimmend sein, insbesondere für die Strömungen, die von Antarktis herkommen. Daher genügt die Hauptthermometerteilung nicht den an sie gestellten Ansprüchen: auch die Teilung des Nebenthermometers könnte günstiger sein, obgleich es hier nicht auf $^1/_{10}$ oder $^2/_{10}\,^0$ ankommt. An dieser Stelle möchte ich noch auf die sonstigen Mängel der Kippthermometerskala und -Lupe hinweisen, da dieses Instrument eines der wichtigsten meereskundlichen Meßwerkzeuge ist. Unter den mir vorliegenden 910 Schätzungen am Hauptthermometer waren 4 nachgewiesene Falschschätzungen um ganze Skalenteile (5, 10, 2), d. h. $0{,}45\,^0/_0$, deren Entstehung einem klar wird, wenn man das mit der Lupe erhaltene Bild der Skala betrachtet. Die Zahlen sind verzerrt und undeutlich, die Strichpfeile kaum zu erkennen, ein Irrtum ist in der Skalenstelle nur bei günstiger Lage der Schätzungsstelle und größter Auf-

merksamkeit des Beobachters zu vermeiden; die Anzahl der Falschschätzungen ist natürlich zu groß für derartig wichtige Beobachtungen. Diese Tatsache und die oben erwähnten Mängel veranlassen mich, vorzuschlagen, für Kippthermometermessungen 1. nicht eine Skala zu wählen, bei der alle Hundertstel geschätzt werden müssen, 2. Intervallbreite und Strichstärke geeignet auszuwählen und evtl. 3. am zweiten Thermometer an einer anderen Stelle zu schätzen, als beim ersten. Ferner ist die Lupe durch eine verzerrungsfreie zu ersetzen, die auch schnelleres Ablesen gewährleistet. Erst so wird man die glänzende Konstruktion der Firma Richter ausnutzen können.

Im übrigen sind natürlich die mit Kippthermometer erhaltenen Temperaturen gegenüber den mit dem Maximum- und Minimumthermometer erhaltenen als wahre Werte zu betrachten, und man könnte durch Vergleich der mit beiden gleichzeitig gemessenen Temperaturen den mittleren Fehler der Maximum- und Minimumtemperaturen ermitteln, und so einen Maßstab für ältere Messungen erhalten.

Fig. 5a gibt die Kurve für den von Lüdemann untersuchten Teilkreis (3). Die Intervallbreite war 0,67 mm, die Strichstärke genau 0.07 mm, Farbe der Striche schwarz. Abgelesen wurde mittels einer zweifach vergrößernden Lupe.

Leider lagen nur die Resultate zweier Beobachter vor, so daß der Kurventyp nicht so sicher erscheint, wie bei dem eben behandelten Beispiel.

Schon der äußere Kurvenverlauf erscheint günstiger und dasselbe ergibt das Verteilungsschema. Die Zahl der richtigen Schätzungen beträgt annähernd $54\,^0/_0$, die der Falschschätzungen um $^2/_{10}$ und mehr $10\,^0/_0$. Der Grund liegt darin, daß das Verhältnis vom Teilstrich zur Intervallbreite besser gewählt wurde.

Die oben gebrachten Beispiele scheinen mir den Einfluß von Intervallbreite und Strichstärke deutlich dargetan zu haben. Sie zeigten, wie verschieden die Kurvenformen für verschiedene Instrumente sind, sie zeigten auch, daß man schon ohne Verteilungsschema Rückschlüsse auf den Wert einer Skala ziehen kann. Es ist mit dem Gefundenen auch das Fehlerhafte erwiesen, das den Versuchen anhaftet, ohne Berücksichtigung der Eigentümlichkeiten einer Messung und aus Messungen eines Beobachters allgemeine Schlüsse zu ziehen.

II. Zusammengesetzte Kurven.

a) Die $^1/_2\,^0$-Thermometerkurve.

Zur Zeichnung der Kurven habe ich das von Hellmann in einer Arbeit (6)[1]) zusammengestellte Material benutzt. Über die Teilung vermag ich daher nichts anzugeben. H. unterscheidet eine größere Anzahl Kurventypen für die einzelnen Beobachter. Er vermißt dabei, daß die Schätzung am vertikalen Thermometer ungünstiger ausfällt, als am horizontalen. Kombiniert man aber die entsprechenden Kurven (Fig. 11), so zeigt sich die Kurve für das horizontale Thermometer flacher als die des verti-

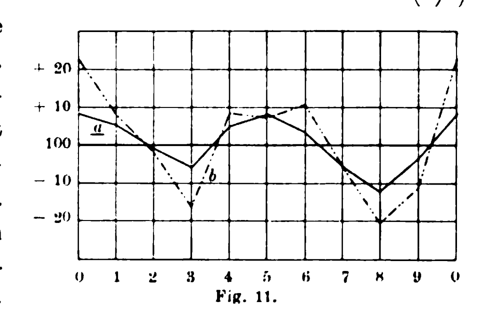


Fig. 11.

[1]) Für die Überlassung dieser Arbeit möchte ich an dieser Stelle Herrn Geheimrat Hellmann noch besonders danken.

kalen; sie erscheint als die bessere. Die Gründe hierfür können in der Stellung des Thermometers zum Auge oder in einer verschiedenartigen Teilung liegen. Letzteres scheint mir mindestens mitgewirkt zu haben. Aus der Kurve des horizontalen Thermometers schließe ich auf gleiche Teilstrichstärke und auf ein Verhältnis des Teilstrichs zum Intervall ähnlich wie bei dem obenerwähnten Theodoliten. Beim vertikalen Thermometer scheinen die äußeren Teilstriche stärker als der 0,5-Strich gewesen zu sein. Die Teilung des horizontalen $^1/_2{}^0$-Thermometers ist jedenfalls sehr brauchbar. Ich möchte noch darauf aufmerksam machen, daß der Kurventeil von 0—0,5 eine bessere Fehlerverteilung als der von 0,5—1,0 aufweist.

b) Die $^1/_5{}^0$-Thermometerkurve (Fig. 12).

Die in Gebrauch befindlichen $^1/_5{}^0$-Thermometer haben starke Teilstriche. Da man nur bei ganz geringer Intervallbreite halbiert, meist aber auch hier Zehntel schätzt, so muß die Kurve aus fünf Grundkurven ungefähr vom Typus Fig. 9a bestehen und infolgedessen ihre Maxima an den Teilstrichstellen, also bei den geraden Zahlen haben. Um dieses zu vermeiden, wären sehr feine Teilstriche nötig, denn da man nicht von der Teilstrichmitte aus schätzt, sondern das freie Feld in 10 Teile zu teilen sucht, ist die Nullstelle stets bevorzugt.

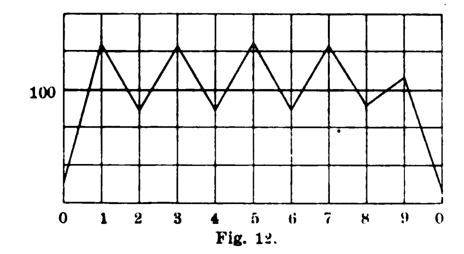


Fig. 12.

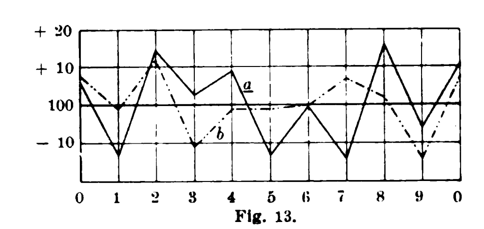


Fig. 13.

Das Material war je 729 Beobachtungen an drei Stationen Österreichs, nämlich Salzburg, Feldkirch und Sonnblick entnommen (3). Die persönliche Gleichung der Beobachter ist bei jeder Teilkurve fast völlig unterdrückt, und so zeigt nebenstehende Kurve, daß die Beobachtungszahlen der einzelnen Monate übereinstimmen. Bei der Salzburgkurve ist der Einfluß persönlicher Fehler daran zu erkennen, daß auch die 2 selten geschätzt wird; die Sonnblickkurve würde für die Null gerade die richtige Schätzungsziffer zeigen, sei es, daß die Nullstriche schwächer waren, sei es, daß der Beobachter die Null vermied, um den Anschein besonderer Sorgfalt zu erwecken.

Es ist zweifelhaft, ob die $^1/_5$-Teilung selbst bei sorgfältiger Wahl von Strichstärke und Intervallbreite gute Resultate gibt, d. h. eine einigermaßen gleichmäßige Schätzung der Zehntel.

In Fig. 13a zeige ich eine Kurve, von der es mir nicht näher bekannt ist, ob sie noch zu den $^1/_5$-Teilungskurven gehört. Es ist die Thermographenkurve vom Sonnblickobservatorium, die beiläufig 1420 Zahlen enthält. Daß die Maxima bei den geraden Zahlen liegen, deutet auf $^1/_5$-Teilung. Es wäre aber auch z. B. die Möglichkeit, daß $^1/_{10}$-Teilung vorliegt und der Beobachter — wie der von Framheim — die geraden Zahlen bevorzugt (vgl. Fig. 4 und Text dazu). Diese Vorliebe des Framheimer Beobachters ist in seiner Barometerkurve (910 Zahlen) fast durchweg zu erkennen.

Ich möchte nun zum Schluß die Ergebnisse zusammenstellen.

1. Verschiedene Skalen und Meßmethoden haben verschiedene Gesetze; jedoch kann der Unterschied klein sein.

2. Daher kann man aus Messungen eines Beobachters an einem Instrument keine allgemein gültigen Gesetze aufstellen.
3. Die Dezimalgleichung eines Beobachters wechselt mehr oder weniger mit der benutzten Skala.
4. Durch Kombination möglichst vieler Beobachter, die gleichartige Schätzungen ausgeführt haben, kann man das Gesetz für die besondere Methode ermitteln, das nicht ohne weiteres auf jede andere Meßmethode übertragen werden darf.
5. Die Anzahl der für diese Untersuchungen notwendigen Schätzungen kann klein sein. Zehntausend und mehr Schätzungen auszuführen, scheint überflüssig.
6. Man kann annehmen, daß Schätzungen, bei denen Flächen gegeneinander abgeschätzt werden, von denen zu trennen sind, bei denen Längenabschnitte geschätzt werden.
7. Die Schätzungen werden vor allem durch Intervallbreite in Verbindung mit der Strichstärke beeinflußt.
8. Auch ohne Verteilungsschema, nur aus der Kurvenform selbst kann man Rückschlüsse auf die Fehlerverteilung ziehen, die jedoch nur ungefähre sind.
9. Zehntelschätzungen sind bei Messungen, für die jeder Einzelwert wichtig ist, zu vermeiden.
10. Für Thermometerablesungen erscheint ein horizontales $^1/_2{}^0$-Thermometer bei richtiger Wahl der Intervallbreite und Strichstärke sehr vorteilhaft.
11. Die Teilung des Richterschen Kippthermometers genügt nicht den an sie gestellten Ansprüchen. Die hohe Zahl der Falschschätzungen um hundertstel und zweihundertstel Grade lassen das Instrument für Tiefseemessungen in dieser Form unbrauchbar erscheinen. Es ist eine andere Teilung anzuwenden, damit das Instrument voll ausgenutzt werden kann. Die stark verzerrende Lupe ist durch eine geeignetere zu ersetzen.
12. Es wäre zu empfehlen, daß die Industrie die verschiedenen Skalen durch Ermittlung der Instrumentenkurven erprobt.
13. Ein Mittel hierzu wäre bei Thermometerablesung darin gegeben, daß man gleichzeitig durch zwei Fernrohre die Skala beobachten läßt. Der Beobachter an dem einen Fernrohr müßte Zehntel schätzen, dem Beobachter an dem anderen Fernrohr wäre durch eine im Bildfeld befindliche Teilung die Möglichkeit zur Ablesung zu geben.

Zum Schluß möchte ich Herrn Prof. Haußmann, der mir vor mehreren Jahren die Anregung zu vorliegenden Untersuchungen gab, meinen Dank aussprechen, ebenso Herrn Dr. Wüst, der mir durch liebenswürdige Überlassung der Protokolle des Instituts für Meereskunde meine Arbeit ermöglichte und mich auch sonst stets unterstützte.

Charlottenburg, Juli 1922/April 1923.

Benutzte Literatur.

1. Protokolle des Instituts für Meereskunde.
2. Lüdemann, Über die mit dem Ausdruck Dezimalgleichung bezeichnete Art von regelmäßigen Fehlern bei der Zehntelschätzung im Zehntelfelde von Nivellierlatten. *Diese Zeitschr.* **43.** *1923.*
3. Lüdemann, Über regelmäßige Fehler bei Zehntelschätzungen. *Mitt. d. Ver. v. Freunden d. Astron. u. kosm. Phys.* **26.** *S. 1—11. 1916.*

4. Amundsen, Eroberung des Südpols.
5. Bauch, Psychologische Untersuchungen über Beobachtungsfehler. *Festschr. d. Psychologie u. ihrer Anwendungen 1. S. 169. 1913.*
6. Hellmann, Über psychologische Fehler bei meteorologischen Beobachtungen. *Verhandl. d. Berl. Akad. d. Wissenschaften 1913.*
7. Veröffentlich. der österreichischen Station, 1917.
8. Reinherz, *Zeitschr. f. Verm. 1893/94.*
9. Kummer, *Zeitschr. f. Verm. 1897.*

Die Erstausschlagsbeobachtung an den Elektrometern von Braun und Haga.

Von
H. Hermann in Tübingen.

1. Die mäßige Dämpfung von Elektrometern mit steifen Nadeln, welche um wagrechte Achsen schwingen, läßt Vorausberechnung der Ruhelage der durch Ladungsänderung ins Schwingen geratenen Nadel oft wünschenswert erscheinen. (Glimmerdämpfung[1]) hat sich nicht eingebürgert; Dämpfen durch rhythmische Kapazitätsänderung[2]) ist nicht immer ausführbar.)

Die Nadelschwingungen sind unsymmetrisch; Vorausberechnung der Ruhelage aus den Umkehrpunkten nach den für symmetrische gedämpfte Schwingungen gültigen Regeln gibt sowohl in der Voltskala als in der Gradskala falsches Ergebnis.

Eine brauchbare Faustregel ließ sich bei dem Braunschen Elektrometer von 1500 Volt Meßbereich für die Gradteilung finden. Wird die Ladung durch Teilung plötzlich verringert, so daß die Nadel von der Ausgangsgradzahl ω bis zum Umkehrpunkt v schwingt, so ist die Ruhelage $\varphi = 0{,}4\,\omega + 0{,}6\,v$ Grad.

Folgende Tafel zeigt einige Beispiele.

ω	67	56,3	51,7	50,3	47,7	40,5	36,8	31,6	30,4	59	54
v	35	12,3	15,8	27,7	8,8	4,2	28,3	12,0	13,3	40	43
φ beob.	47,7	30,4	30,2	36,8	24,8	20,0	31,6	18,8	19,4	47,7	47,7
φ ber.	47,8	29,9	30,2	36,7	24,4	18,7	31,7	19,8	20,2	47,6	47,4

2. Die rationelle Vorausberechnung der Ruhelage auf Grund der Theorie der asymmetrischen Schwingungen ist nur für kleine Ausschläge gut durchführbar, welche am Braunschen Elektrometer nicht so genau meßbar und gleichmäßig sind, daß sie sich lohnen würde. Dagegen dürfte sie sich für genaues Arbeiten mit dem Elektrometer von Haga[3]) eignen, wenn dieses nach dem Vorschlag des Erbauers mit Spiegelablesung versehen wird. Da mir kein solches Instrument zu Gebot stand, sind für das Folgende Ablesungen am Braunschen als Beispiel benutzt.

Die Differentialgleichung des asymmetrischen Schwingens ohne Berücksichtigung der Dämpfung werde geschrieben[4])

$$d^2\alpha/dt^2 = -c_1\alpha - c_2\alpha^2. \qquad 1)$$

(Ist c_1 negativ, so kann sie einen Abstoßungsvorgang darstellen; hierauf bezieht sich die von P. Schulze nicht weiter erörterte dritte Wurzel der Gleichung dritten Grades für die Umkehrpunkte. Im folgenden ist c_1 positiv.)

[1]) Lemme, Dissert. Greifswald 1901, *S. 33.*
[2]) Hermann, *Zeitschr. f. physikal. u. chem. Unterr.* **33.** *S. 122. 1920.*
[3]) Haga, *Physikal. Zeitschr.* **18.** S. *275. 1917.*
[4]) Richarz und P. Schulze, *Ann. d. Physik* **8.** *S. 343. 1902*; Dissert. Greifswald 1901. *S. 25.*

Ist der Meistwert von α nach der einen Seite ϑ, nach der andern $\vartheta' = -(\vartheta + \varepsilon)$, so ergibt die Theorie für kleine Winkel

$$\varepsilon = \vartheta^2 \cdot 2\, c_2/3\, c_1. \qquad 2)$$

Die Gleichgewichtsbedingung beim Braunschen Elektrometer ist[1])

$$C \sin \varphi = D,$$

wo D das Drehmoment der elektrischen Kräfte bedeutet. Tritt $\varphi + \alpha$ an Stelle von φ, ohne daß das Potential sich ändert, so ist nach dem Coulombschen Gesetz bei idiostatischem Instrument D kleiner als $C \sin(\varphi + \alpha)$ im Verhältnis $V^2(\varphi) : V^2(\varphi + \alpha)$, wo V das Potential als Funktion des im Gleichgewichtsfall erreichten Ausschlags bedeutet. Hierbei ist die Kapazitätsänderung beim Übergang der Nadel von φ nach $\varphi + \alpha$ vernachlässigt, was nach der angeführten Untersuchung erlaubt ist. Der Überschuß des Drehmoments der Nadelschwere $C \sin(\varphi + \alpha)$ über das elektrische ist die Veranlassung zum Schwingen der Nadel. Somit lautet die Bewegungsgleichung für die ungedämpfte Braunsche Nadel vom Trägheitsmoment K

$$-K d^2 \alpha/dt^2 = C \sin(\varphi + \alpha)\{1 - V^2(\varphi) : V^2(\varphi + \alpha)\}$$

Beim Haga-Elektrometer ist noch die Drillung des wagrecht gespannten Bändchens zu berücksichtigen; hier hat die Gleichgewichtsbedingung die Form

$$C(\sin \varphi + R\varphi - S) = D,$$

wo S einer Vorspannung des Bändchens Rechnung trägt; die Bewegungsgleichung wird

$$-K d^2 \alpha/dt^2 = C\{\sin(\varphi + \alpha) + R(\varphi + \alpha) - S\}\{1 - V^2(\varphi) : V^2(\varphi + \alpha)\}.$$

Für kleine α wird die rechte Seite

$$C\{\sin \varphi + \alpha \cos \varphi + R(\varphi + \alpha)\}\{\alpha (dV^2/d\varphi) : V^2\}.$$

Somit ist, unabhängig von der Eichkurve des Elektrometers, c_1 proportional $\sin \varphi + R\varphi - S$; c_2 proportional $\sin \varphi$; also

$$\varepsilon = \vartheta^2 \cdot 2 \cos \varphi / 3 (\sin \varphi + R\varphi - S), \qquad 3)$$

und zwar ist der größere Ausschlag der negative, also hier der unter der Ruhelage; eine bei den letzten kleinen Schwingungen Braunscher Elektrometer unmittelbar vor dem Stillstand leicht zu bestätigende Eigentümlichkeit, welche zwingt, selbst diese noch nicht zur gewöhnlichen Mittelbildung zu benutzen.

3. Nun zeigt aber die „Faustregel“ und Tafel oben Ziff. 1, daß diese Eigentümlichkeit bei größeren Schwingungsweiten sich ins Gegenteil umkehrt, und zwar schon bei Schwingungsweiten von etwa 0,1 Radian ($5{,}73^0$), bei welchem es sich noch nicht wohl um Abweichung des Schwingungsgesetzes von dem für kleine Ausschläge (wegen Anwachsens der höheren Potenzen der in eine Reihe entwickelten Abhängigkeit vom Ausschlag) handeln kann. Folglich liegt der Grund in stärkerer Dämpfung, ohne Zweifel wegen höheren Luftwiderstandsfaktors gegen die schnellen Bewegungen der weiter ausschlagenden Nadel. Die von P. Schulze angewandte einfache Berücksichtigung einer schwachen Dämpfung: Mittelbildung wie bei symmetrischer Schwingung und Verbesserung um einen Näherungswert von $\varepsilon/2$ [2]) ist somit hier nicht anwendbar, da ja die Zufügung von $\varepsilon/2$ im theoretisch geforderten Sinne das Ergebnis verschlechtert, statt es zu verbessern. Beispielsweise gehört zu $\omega = 36{,}8^0$; $v = 28{,}3^0$ und

[1]) Hermann, *Physikal. Zeitschr.* **23.** *S. 387. 1922.*

[2]) P. Schulze, Dissert. *S. 91—93.*

zweitem Umkehrpunkt $\omega' = 34{,}8^0$ nach den Regeln symmetrischer gedämpfter Schwingungen die Ruhelage $32{,}0^0$; berechnet man einen Näherungswert für $\varepsilon/2 = (\vartheta^2 \operatorname{ctg} \varphi) : 3$ aus $\varphi = 32$ und $\vartheta = 7{,}5$ zu $0{,}2^0$, so wird der verbesserte Wert für φ $32{,}2^0$, während die Beobachtung $31{,}6^0$ ergab.

4. Schreibt man die Differentialgleichung der gedämpften asymmetrischen Schwingung nach F. A. Schulze[1])

$$d^2 \alpha / dt^2 = - c_1 \alpha - c_2 \alpha^2 - 2 \, \mathrm{b} \, d\alpha / dt, \tag{4}$$

so ist nach seinen Entwicklungen, wenn die auf ungedämpfte Schwingung bezüglichen, bei ihm mit dem Zusatz $b = 0$ versehenen Größen hier mit großem griech. Alphabet bezeichnet werden

$$-(\vartheta + \varepsilon) = \vartheta' = \Theta' (1 - \delta'),$$

wobei Θ' gemeint ist für den Fall, daß schon die erste Halbschwingung $\Theta = \vartheta$ ungedämpft erfolgt, also nicht auf gleiche Durchgangsgeschwindigkeit durch die Ruhelage bezogen ist; daher ist $1 - \delta'$ das volle Dämpfungsverhältnis für schwache Dämpfung unter Vernachlässigung der höheren Potenzen von δ'. δ' ist dann aus dem Energieintegral der Differentialgleichung bestimmt durch die Bedingung

$$2 \, \delta' (c_1 \, \Theta'^2 + c_2 \, \Theta'^3) = 4 \, b J',$$

wo $J' = \int (d\alpha/dt)^2 \, dt$ von einem Umkehrpunkt zum andern ist. Dieses Integral ermittelt F. A. Schulze näherungsweise aus seinem Wert für eine symmetrische ungedämpfte Schwingung, wobei als Schwingungsweite Θ und Θ' im Lauf der Entwicklung vertauscht werden.

Für das Folgende sei diese Schwingungsweite als $|\Theta'|$ angenommen; die einfache Schwingungsdauer heiße T, und zum Ausdruck der möglichen Ungenauigkeit dieser Abschätzung diene ein von 1 wenig verschiedener Faktor z, welcher u. U. empirisch zu ermitteln wäre. Da $2 J' = T c_1 \Theta'^2$, ist $\delta' = z b T : (1 + \Theta' c_2/c_1)$, wo $\Theta' < 0$; unter Vernachlässigung von Θ^2 ersetzbar durch $\delta' = z b T : (1 + \Theta c_2/c_1)$.

Für die Rückschwingung heiße das Dämpfungsverhältnis $1 - \delta''$, wobei

$$\delta'' = \frac{2 \, b J''}{c_1 \vartheta^2 + c_2 \vartheta^3}; \quad -\vartheta = \vartheta' (1 - 2 \, c_2 \, \vartheta' / 3 \, c_1) = \Theta' (1 - \delta' - 2 \, c_2 \, \Theta' / 3 \, c_1)$$

und J'' folgerichtig auf eine Schwingungsweite $\Theta'' = \Theta' (1 - \delta)$ zu beziehen ist. $1 - \delta$ ist das Dämpfungsverhältnis der ganzen Schwingungsbogen. Bei symmetrischer Schwingung ist es demjenigen der aufeinanderfolgenden Halbbogen gleich, da in den üblichen Bezeichnungen (Kohlrausch, Praktische Physik, Ziff. 108)

$$\frac{1}{1 - \delta} = k = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_3} = \frac{\alpha_2 (1 + k)}{\alpha_3 (1 + k)} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\alpha_2 + \alpha_3};$$

bei unsymmetrischer Schwingung muß es zwischen δ' und δ'' liegen. Somit sind jetzt aus dem experimentell bekannten $\delta \approx (\omega - v) : (\omega' - v) - 1$ die Größen δ' und δ'' für den Fall abzuleiten, daß δ^2 gegen 1 nicht mehr zu vernachlässigen ist. Dagegen soll δ^3 noch immer vernachlässigt werden. Das Energieintegral lautet alsdann

$$\delta'^2 (\Theta'^2 c_1 + 2 \, \Theta'^3 c_2) - 2 \, \delta' (\Theta'^2 c_1 + \Theta'^3 c_2) + 2 \, z \, b \, T \, \Theta'^2 c_1 = 0,$$

woraus folgt

$$\delta' (1 + 2 \, \Theta' c_2/c_1) = 1 + \Theta' c_2/c_1 - \sqrt{1 + 2 \, \Theta' c_2/c_1 + \Theta'^2 c_2^2/c_1^2 - 2 \, z \, b \, T (1 + 2 \, \Theta' c_2/c_1)}.$$

[1]) *Ann. d. Physik* **12**. S. 1120. 1903.

Wird die Wurzel bis zum quadratischen Glied der Binominalreihe entwickelt, so kommt, wenn, unter Vernachlässigung von Θ^2, $\Theta' = -\Theta$ gesetzt wird

$$\delta' = z\,b\,T\,(1 + \Theta\,c_2/c_1) + {}^1/_2\,z^2 b^2 T^2 (1 - 2\,\Theta\,c_2/c_1)^2. \qquad 5)$$

Für die Rückschwingung lautet das Energieintegral mit $\vartheta'' = \Theta'(1-\delta)$

$$\delta''^2 (\vartheta^2 c_1 + 2\,\vartheta^3 c_2) - 2\,\delta'' (\vartheta^2 c_1 + \vartheta^3 c_2) + 2\,z\,b\,T\,\vartheta''^2 c_1 = 0.$$

Setzt man $z\,\Theta'^2 : \vartheta^2 k^2 = w$, und ersetzt ϑ, wo es dann noch vorkommt, durch Θ, so wird

$$\begin{aligned}\delta'' &= w\,b\,T(1 - \Theta\,c_2/c_1) + {}^1/_2\,w^2 b^2 T^2 (1 + 2\,\Theta\,c_2/c_1)^2 \\ &= z\,b\,T\,(1 - \Theta\,c_2/c_1) : [(1-\delta')^2 (1-\delta'')^2 (1 - 2\,\Theta\,c_2/3\,c_1)^2 k^2] \\ &\quad + {}^1/_2\,z^2 b^2 T^2 (1 + 2\,\Theta\,c_2/c_1)^2 : [(1-\delta')^4 (1-\delta'')^4 (1 - 2\,\Theta\,c_2/3\,c_1)^4 k^4].\end{aligned}$$

Ersetzt man jetzt näherungsweise $(1-\delta')(1-\delta'')$ durch $(1-\delta)^2$, so wird

$$\begin{aligned}\delta'' &= z\,b\,T\,(1 + \Theta\,c_2/3\,c_1) : (1-\delta)^4 k^2 \\ &\quad + {}^1/_2\,z^2 b^2 T^2 (1 + 2\,\Theta\,c_2/c_1)^2 : [(1-\delta)^8 (1 - 2\,\Theta\,c_2/3\,c_1)^4 k^4].\end{aligned} \qquad 6)$$

Nun bilde man die Näherungsgleichung $4\,\delta = 2\,\delta' + 2\,\delta'' = 2\,z\,b\,T\,B + z^2 b^2 T^2 A$, wo

$$\begin{aligned}A &= (1 - 2\,\Theta\,c_2/c_1)^2 + (1 + 2\,\Theta\,c_2/c_1)^2 : (1 - 2\,\Theta\,c_2/3\,c_1)^4 (1-\delta)^8 k^4 \\ B &= 1 + \Theta\,c_2/c_1 + (1 + \Theta\,c_2/3\,c_1) : (1-\delta)^4 k^2;\end{aligned}$$

somit ist

$$z\,b\,T = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4\,\delta\,A}}{A} \qquad 7)$$

Da $k^2 \approx (1-\delta)^2$, ist näherungsweise $\delta' : \delta'' = (1-\delta)^2$; $\delta' + \delta'' = \delta''[1 + (1-\delta)^2]$; setzt man diesen Ausdruck gleich $2\,\delta$, so folgt näherungsweise

$$\delta'' = \delta : (1-\delta); \quad \delta' = \delta\,(1-\delta). \qquad 8)$$

Im folgenden ist für $2\,\Theta\,c_2/3\,c_1$ die Abkürzung η benutzt; für k^{-1} die Abkürzung q. Diese Näherungen dienen zur genaueren Ermittlung von δ aus

$$q = (\omega' - v) : (\omega - v) = (1-\delta')\,[2 - \delta''(1-\eta)] : [2 - \delta'(1-\eta) + \eta]. \qquad 9)$$

Führt man diese Division bis zum dritten Teilbruch weiter, soweit er noch in Betracht kommende Glieder enthält, so kommt

$$q = 1 - \delta + \eta/2 + 3\,\eta\,\delta''/4 - \delta'^2 (2 - \varepsilon)/8 + \delta'\,\delta''(1 - 2\,\varepsilon)/4.$$

Mit den angegebenen Näherungsausdrücken für δ' und δ'' ergibt dies die Gleichung

$$\delta\,(1 - 5\,\eta/8) = 1 - 7\,\eta/8 - q/2 - \sqrt{(1 - 7\,\eta/8 - q/2)^2 - (1 - 5\,\eta/8)(1 - q - \eta/2)}. \qquad 10)$$

5. Die Bearbeitung des am Schluß von Abs. 3 gegebenen Beispiels mit diesen Formeln ergibt folgendes. Zunächst sei bemerkt, daß der angegebene Wert von ω' nicht unmittelbar beobachtet, sondern aus dem Mittelwert von q für das benutzte Instrument, der aus 11 Beobachtungen zu 0,77 abgeleitet war, errechnet ist. Man kommt so mit Ablesung von ω und v aus. Für die Berechnung von Θ ist die Faustregel des Abs. 1 benutzt; sie ergibt $\Theta = 5{,}1 : 57{,}3 = 0{,}089$ Radian; $c_2/c_1 = \operatorname{ctg}\varphi = 1{,}62$; $\Theta\,c_2/c_1 = 0{,}144$; $\eta = 0{,}096$; die Gleichung 10) für δ wird $\delta\,0{,}94 = 0{,}531 - \sqrt{0{,}282 - 0{,}171}$; $\delta = 0{,}215$; die Näherungswerte nach 8) sind $\delta' = 0{,}165$; $\delta'' = 0{,}268$, hieraus nach 9) $q = 0{,}765$, zu klein. Versucht man $\delta = 0{,}21$, so wird auf demselben Wege $\delta' = 0{,}166$; $\delta'' = 0{,}266$; $q = 0{,}761$. Folglich ist richtiger $\delta = 0.22$. Hieraus folgt nach 5), 6) und 9) mit $A = 6{,}86$; $B = 2{,}96$; $z\,b\,T = 0{,}130$; $\delta' = 0{,}153$; $\delta'' = 0{,}270$; $q = 0{,}772$. Mit $\delta = 0{,}23$ findet man auf demselben Wege $A = 7{,}55$;

$B = 3{,}05$; $zbT = 0{,}129$; $\delta' = 0{,}152$; $\delta'' = 0{,}286$; $q = 0{,}776$. Durch Einschaltung folgt das endgültige $\delta = 0{,}223$. In der Tat wird mit $\delta = 0{,}223$

$$A = 7{,}05;\quad B = 2{,}99;\quad zbT = 0{,}129;\quad \delta' = 0{,}152;\quad \delta'' = 0{,}274;\quad q = 0{,}770.$$

Wo die Zahlverhältnisse ähnlich liegen, kann man somit sofort mit $1 - q$ als enger oberer Grenze für δ die Berechnung von A und B beginnen, wodurch sie sehr beschleunigt wird.

6. Zur Berechnung der Ruhelage ohne Vernachlässigung von δ^2 kann man folgendermaßen vorgehen. Da $\Theta = \Theta'(1 - \eta\,\Theta')$, so ist

$$\omega - v = \Theta'(2 - \eta\,\Theta' - \delta') = |\vartheta'|(2 - \eta\,\Theta' - \delta') : (1 - \delta')$$
$$\omega' - v = |\vartheta'|(2 - \eta\,|\vartheta'| - \delta'' + \eta\,|\vartheta'|\,\delta'')$$
$$\omega - \omega' = |\vartheta'|\{(2 - \eta\,\Theta' - \delta') : (1 - \delta') - 2 + \eta\,|\vartheta'| + \delta''(1 - \eta\,|\vartheta'|)\}$$
$$(\omega - \omega')(1 - \delta') = |\vartheta'|\{-\eta\,|\vartheta'|\,(\delta'' + \delta'[1 + 1/(1 - \delta')] - \delta'\delta'') + \delta' + \delta'' - \delta'\delta''\}. \quad 11)$$

Nennt man x das Gradmaß des Winkels $|\vartheta'| + \varphi - v$ und W die Differenz der beiden Gleichungsseiten, so daß für das richtige x $W(x) = 0$ wird, so ist für das Braunsche Elektrometer

$$W = 2\,E x^2 - 172\,\mathrm{tg}\,\varphi\,(F x - G) = 0,$$

wobei

$$E = \delta'' + \delta'(2 - \delta') : (1 - \delta') - \delta'\delta''$$
$$F = \delta' + \delta'' - \delta'\delta''$$
$$G = (\omega - \omega')(1 - \delta').$$

Im obigen Beispiel wird

$$W = 1{,}44\,x^2 + 172\,\mathrm{tg}\,\varphi\,(0{,}517\,x - 1{,}658).$$

Man beginnt mit der Faustregel:

$\varphi = 31{,}7^0$;	$x = 3{,}4$	ergibt	$W = 6{,}0$
$\varphi = 31{,}8^0$;	$x = 3{,}5$	"	$W = 1{,}38$
$\varphi = 31{,}9^0$;	$x = 3{,}6$	"	$W = -2{,}97$

Somit wird $W = 0$ für $\varphi = 31{,}83^0$.

Bei genügender Genauigkeit der Unterlagen kann so der Ladungsverlust bis zur Beruhigung der Nadel durch Vergleich mit der beobachteten Gleichgewichtslage ermittelt und wenn nötig, der auf die Zeit vom Umkehrpunkt rückwärts bis zum Teilungspunkt entfallende noch abgeschätzt und in Rechnung gesetzt werden.

Die allgemeinere Bedeutung des Rechenbeispiels liegt darin, daß dadurch gezeigt wird, daß die entwickelte Näherung genügt, um von der verkehrten Lagerung der Asymmetrie infolge stärkerer Dämpfung Rechenschaft zu geben.

Das mittelalterliche Lehrgerät für Sternkunde zu Regensburg und seine Beziehungen zu Wilhelm von Hirsau.

Von
E. Zinner in München.

Ein beachtenswertes Kunstwerk steht in der Ulrichskirche, dem Museum des historischen Vereins, zu Regensburg. Es ist eine 2 Meter hohe steinerne Bildsäule, die an ihrem oberen Ende die Gestalt eines knienden, zur Sonne schauenden Jünglings vor einer senkrechten Scheibe zeigt. Die Scheibe ist auf beiden Seiten mit

Umschriften verziert und enthält auf der abgewandten Seite eine mathematische Zeichnung. Über den Kunstwert der Bildsäule schreibt Hans Hildebrandt in dem Bande Regensburg der Sammlung „Berühmte Kunststätten“ S. 38: „Unvermittelt, eine gütige Himmelsgabe, zwischen solch befangenen Versuchen steht ein Meisterwerk, das so vollkommen, daß es die Antike zwar anders, aber nicht schöner hervorgebracht haben würde: Das Astrolabium aus St. Emmeran (Abb. 13), vielleicht eine Arbeit des sternkundigen, genialen Wilhelm von Hirsau. Über quadratischer Platte steigt ein achteckiger, schlanker Pfeiler auf, dessen drei rückwärtige Seiten in senkrechter Platte verschwinden. Den stark verbreiterten Sockel setzen ornamental verzierte Schräge, ein achteckiges, massives Pfeilerstück und das kräftig geschwungene Verbindungsglied zusammen; das Kapitel zeigt zwischen einem Paar hochstrebender Eckvoluten eine gerade Vorderfläche mit köstlich erfundenen Ranken erfüllt; niedere Platte; darüber die leider etwas verstümmelte Gestalt eines knienden Jünglings, der sich wundervoll von der inschriftumlaufenen Kreisscheibe über der Stele hebt. Sein linkes Knie berührt den Boden, auf das rechte, emporgerichtete, stemmt er den Arm und hält die Hand vor das aufblickende Auge. Wie die bewegte Form in das Rund gefügt, die Masse von Bekrönung, Träger und Sockel, die Verteilung der Ornamente: Alles erfordert begeisterte Bewunderung.“ Dies über den Kunstwert. Der Zweck der Bildsäule war unbekannt.

Was sagt die Bildsäule selbst über ihre Bedeutung aus? Die jetzt zum Teil verwitterte Umschrift lautet — gemäß einer Abschrift des 16. Jahrhunderts (1) — auf der Seite des Jünglings: „*Sidereas motus radio percurrit Aratus*“ und auf der anderen Seite: „*Clima cicli cardo celi locas extimi signi mult' ad haec usus patet hinc sub acumine visus.*“ Die notwendigerweise freie Übersetzung lautet: „Der Sterne Lauf hat Aratos mit dem Jakobstab[1]) gemessen“ und „Die Breitenkreise, die Hauptpunkte des Himmels, die Lage der äußersten Tierzeichen; Alles dies wird beim Blick auf die Stifte offenbar.“ Der erste Satz ist eine Huldigung an Aratos, den Verfasser des bekannten Lehrgedichtes über die Lage der Hauptkreise und Sternbilder am Himmel. Die andere Umschrift gibt die Erklärung zu der mathematischen Zeichnung. Diese zeigt einen in je sechs Grad geteilten Kreis, durch dessen Teilpunkte Halbmesser gezogen sind, die aber nur bis zu einem inneren Kreise laufen. Zwischen diesem und einem nahen innersten Kreise ist eine feine Gradteilung zu erkennen. Das Innere dieses innersten Kreises ist geteilt durch eine wagerechte, mit Orizon bezeichnete Linie und die dazu im Mittelpunkt senkrechte; ferner durch eine unter 48 Grad geneigte Polachse mit unleserlicher Bezeichnung (*? O ??? Q ? N? NNPOL ? L ? A ? NEL*) und dazu senkrecht die 5 Hauptkreislinien: Die 2 Polarkreise in 36° Polabstand, die 2 Wendekreise in 66° Polabstand und der Äquator. Von dem südlichen Ende des Äquators ist ein mit *V?? B ? L* bezeichnetes Lot auf die wagerechte Linie gefällt. Im Mittelpunkt, im Nordpol und in den südlichen Endpunkten der vier nördlichsten Hauptkreise sind Löcher vorhanden, anscheinend für Stifte. War die Bildsäule richtig im Freien aufgestellt, so daß der Jüngling nach Süden schaute, und zwar an einem Ort von ungefähr 48° Polhöhe — Regensburg hat 49° Polhöhe —, so konnte jeder, der über den Stift in der Mitte zu den einzelnen Stiften am Rande mit dem Auge zielte, sich leicht die Lage des Nordpols und der Hauptkreise am Himmel einprägen. Die Bildsäule ist also ein Lehrgerät für Sternkunde.

---

[1]) Unter *radius* wurde schon im frühen Mittelalter ein einfaches Gerät zum Ausmessen verstanden, so von Boethius und Martianus Capella.

$B = 3{,}05$; $zbT = 0{,}129$; $\delta' = 0{,}152$; $\delta'' = 0{,}286$; $q = 0{,}776$. Durch Einschaltung folgt das endgültige $\delta = 0{,}223$. In der Tat wird mit $\delta = 0{,}223$

$$A = 7{,}05;\quad B = 2{,}99;\quad zbT = 0{,}129;\quad \delta' = 0{,}152;\quad \delta'' = 0{,}274;\quad q = 0{,}770.$$

Wo die Zahlverhältnisse ähnlich liegen, kann man somit sofort mit $1 - q$ als enger oberer Grenze für δ die Berechnung von A und B beginnen, wodurch sie sehr beschleunigt wird.

6. Zur Berechnung der Ruhelage ohne Vernachlässigung von δ^2 kann man folgendermaßen vorgehen. Da $\Theta = \Theta'(1 - \eta\,\Theta')$, so ist

$$\omega - v = \Theta'(2 - \eta\,\Theta' - \delta') = |\vartheta'|(2 - \eta\,\Theta' - \delta') : (1 - \delta')$$
$$\omega' - v = |\vartheta'|(2 - \eta\,|\vartheta'| - \delta'' + \eta\,|\vartheta'|\,\delta'')$$
$$\omega - \omega' = |\vartheta'|\{(2 - \eta\,\Theta' - \delta') : (1 - \delta') - 2 + \eta\,|\vartheta'| + \delta''(1 - \eta\,|\vartheta'|)\}$$
$$(\omega - \omega')(1 - \delta') = |\vartheta'|\{-\eta\,|\vartheta'|\,(\delta'' + \delta'[1 + 1/(1 - \delta')] - \delta'\delta'') + \delta' + \delta'' - \delta'\delta''\}. \qquad 11)$$

Nennt man x das Gradmaß des Winkels $|\vartheta'| + \varphi - v$ und W die Differenz der beiden Gleichungsseiten, so daß für das richtige x $W(x) = 0$ wird, so ist für das Braunsche Elektrometer

$$W = 2\,E x^2 - 172\,\mathrm{tg}\,\varphi\,(Fx - G) = 0.$$

wobei

$$E = \delta'' + \delta'(2 - \delta') : (1 - \delta') - \delta'\delta''$$
$$F = \delta' + \delta'' - \delta'\delta''$$
$$G = (\omega - \omega')(1 - \delta').$$

Im obigen Beispiel wird

$$W = 1{,}44\,x^2 + 172\,\mathrm{tg}\,\varphi\,(0{,}517\,x - 1{,}658).$$

Man beginnt mit der Faustregel:

$\varphi = 31{,}7^0$;	$x = 3{,}4$	ergibt	$W = 6{,}0$
$\varphi = 31{,}8^0$;	$x = 3{,}5$	„	$W = 1{,}38$
$\varphi = 31{,}9^0$;	$x = 3{,}6$	„	$W = -2{,}97$

Somit wird $W = 0$ für $\varphi = 31{,}83^0$.

Bei genügender Genauigkeit der Unterlagen kann so der Ladungsverlust bis zur Beruhigung der Nadel durch Vergleich mit der beobachteten Gleichgewichtslage ermittelt und wenn nötig, der auf die Zeit vom Umkehrpunkt rückwärts bis zum Teilungspunkt entfallende noch abgeschätzt und in Rechnung gesetzt werden.

Die allgemeinere Bedeutung des Rechenbeispiels liegt darin, daß dadurch gezeigt wird, daß die entwickelte Näherung genügt, um von der verkehrten Lagerung der Asymmetrie infolge stärkerer Dämpfung Rechenschaft zu geben.

Das mittelalterliche Lehrgerät für Sternkunde zu Regensburg und seine Beziehungen zu Wilhelm von Hirsau.

Von

E. Zinner in München.

Ein beachtenswertes Kunstwerk steht in der Ulrichskirche, dem Museum des historischen Vereins, zu Regensburg. Es ist eine 2 Meter hohe steinerne Bildsäule, die an ihrem oberen Ende die Gestalt eines knienden, zur Sonne schauenden Jünglings vor einer senkrechten Scheibe zeigt. Die Scheibe ist auf beiden Seiten mit

Umschriften verziert und enthält auf der abgewandten Seite eine mathematische Zeichnung. Über den Kunstwert der Bildsäule schreibt Hans Hildebrandt in dem Bande Regensburg der Sammlung „Berühmte Kunststätten“ S. 38: „Unvermittelt, eine gütige Himmelsgabe, zwischen solch befangenen Versuchen steht ein Meisterwerk, das so vollkommen, daß es die Antike zwar anders, aber nicht schöner hervorgebracht haben würde: Das Astrolabium aus St. Emmeran (Abb. 13), vielleicht eine Arbeit des sternkundigen, genialen Wilhelm von Hirsau. Über quadratischer Platte steigt ein achteckiger, schlanker Pfeiler auf, dessen drei rückwärtige Seiten in senkrechter Platte verschwinden. Den stark verbreiterten Sockel setzen ornamental verzierte Schräge, ein achteckiges, massives Pfeilerstück und das kräftig geschwungene Verbindungsglied zusammen; das Kapitel zeigt zwischen einem Paar hochstrebender Eckvoluten eine gerade Vorderfläche mit köstlich erfundenen Ranken erfüllt; niedere Platte; darüber die leider etwas verstümmelte Gestalt eines knienden Jünglings, der sich wundervoll von der inschriftumlaufenen Kreisscheibe über der Stele hebt. Sein linkes Knie berührt den Boden, auf das rechte, emporgerichtete, stemmt er den Arm und hält die Hand vor das aufblickende Auge. Wie die bewegte Form in das Rund gefügt, die Masse von Bekrönung, Träger und Sockel, die Verteilung der Ornamente: Alles erfordert begeisterte Bewunderung.“ Dies über den Kunstwert. Der Zweck der Bildsäule war unbekannt.

Was sagt die Bildsäule selbst über ihre Bedeutung aus? Die jetzt zum Teil verwitterte Umschrift lautet — gemäß einer Abschrift des 16. Jahrhunderts (1) — auf der Seite des Jünglings: „*Sidereas motus radio percurrit Aratus*“ und auf der anderen Seite: „*Clima cicli cardo celi locas extimi signi mult' ad haec usus patet hinc sub acumine visus.*“ Die notwendigerweise freie Übersetzung lautet: „Der Sterne Lauf hat Aratos mit dem Jakobstab[1]) gemessen“ und „Die Breitenkreise, die Hauptpunkte des Himmels, die Lage der äußersten Tierzeichen; Alles dies wird beim Blick auf die Stifte offenbar.“ Der erste Satz ist eine Huldigung an Aratos, den Verfasser des bekannten Lehrgedichtes über die Lage der Hauptkreise und Sternbilder am Himmel. Die andere Umschrift gibt die Erklärung zu der mathematischen Zeichnung. Diese zeigt einen in je sechs Grad geteilten Kreis, durch dessen Teilpunkte Halbmesser gezogen sind, die aber nur bis zu einem inneren Kreise laufen. Zwischen diesem und einem nahen innersten Kreise ist eine feine Gradteilung zu erkennen. Das Innere dieses innersten Kreises ist geteilt durch eine wagerechte, mit Orizon bezeichnete Linie und die dazu im Mittelpunkt senkrechte; ferner durch eine unter 48 Grad geneigte Polachse mit unleserlicher Bezeichnung (*? O ? ? ? Q ? N ? NNPOL ? L ? A ? NEL*) und dazu senkrecht die 5 Hauptkreislinien: Die 2 Polarkreise in 36° Polabstand, die 2 Wendekreise in 66° Polabstand und der Äquator. Von dem südlichen Ende des Äquators ist ein mit *V ? ? B ? L* bezeichnetes Lot auf die wagerechte Linie gefällt. Im Mittelpunkt, im Nordpol und in den südlichen Endpunkten der vier nördlichsten Hauptkreise sind Löcher vorhanden, anscheinend für Stifte. War die Bildsäule richtig im Freien aufgestellt, so daß der Jüngling nach Süden schaute, und zwar an einem Ort von ungefähr 48° Polhöhe — Regensburg hat 49° Polhöhe —, so konnte jeder, der über den Stift in der Mitte zu den einzelnen Stiften am Rande mit dem Auge zielte, sich leicht die Lage des Nordpols und der Hauptkreise am Himmel einprägen. Die Bildsäule ist also ein Lehrgerät für Sternkunde.

---

[1]) Unter *radius* wurde schon im frühen Mittelalter ein einfaches Gerät zum Ausmessen verstanden, so von Boethius und Martianus Capella.

Woher stammt dieses Lehrgerät? Und geht es auf des sternkundigen Wilhelms (gest. 1091) von Hirsau Wirken in Regensburg zurück? Dor Domkapitular Bernard Stark fand es von Rosen umwachsen im Garten[1]) des Stiftes St. Emmeran zu Regensburg, als er infolge der Rundfrage Petersens vom Jahre 1783 nach dem „sphärischen Uhrwerke“ Wilhelms von Hirsau suchte. In einer nicht vollendeten Arbeit (2) teilt er die Zeichnung und die wohl der erwähnten Handschrift von St. Emmeran entnommene Umschrift mit und berichtet, daß nach einer Sage des Stiftes Wilhelm eine Sonnenuhr habe setzen lassen und daß der Abt Anselm Godin von Tampezzo (1677 bis 1742) von noch vorhandenen Erinnerungsstücken an Wilhelm spricht. Sicherlich kann die Bildsäule nicht von Wilhelm selbst herrühren, der bereits im Jahre 1069 St. Emmeran verließ, während der Stil[2]) der Bildsäule auf die Zeit um 1220 hinweist und die Säule selbst wohl von einem in Reims geschulten Bildhauer in Regensburg hergestellt wurde. Dagegen ist es möglich, daß ein von Wilhelm stammendes Gerät als Vorbild diente. Und diese Möglichkeit wird zur Wahrscheinlichkeit, wenn man die Urteile der Zeitgenossen über Wilhelms Tätigkeit hört. So schreibt sein Schüler Haimo (3): „Viele Andenken seines naturwissenschaftlichen Denkens hinterließ er uns; denn er stellte eine Sonnenuhr her nach Art einer himmlischen Halbkugel.“ Und sein Zeitgenosse Bernold[3]) fügt hinzu: „Die Sonnenwenden und Tag- und Nachtgleichen und den Bau des Himmels zu finden, leitete er an und einer seiner Freunde ließ es schriftlich niederlegen.“ Nun entspricht die Zeichnung auf der Bildsäule wohl nicht einer Himmelshälfte, sondern nur deren Projektion; sie diente aber denselben Zwecken wie die von Haimo und Bernold erwähnte.

Was sagen Wilhelms sternkundliche Schriften aus? Die ihm zugeschriebenen „*Philos. et astron. institutiones*“ stammen nicht von ihm, sondern von dem viel später lebenden Wilhelm von Conches. Dagegen wird ihm mit Recht zuerkannt die Schrift „*de astronomia*“, enthalten in einer aus St. Emmeran stammenden Handschrift des 12. Jahrhunderts (4). Diese Schrift enthält ein Zwiegespräch zwischen dem Lehrer W. und dem Schüler O. In diesem Gespräch über die Einteilung des Jahres verraten sich wohl keine besonderen Kenntnisse des Lehrers; denn er hält den Grad für den 365. Teil des Kreises und kennt nicht die Verschiedenheit der Zwischenzeiten zwischen den 4 Hauptpunkten des Jahres. Dagegen ist sein Versuch, durch Beobachtung des Wanderns des Schattens auf der Mittagslinie, die Lage der Sommer- und Winterwende festzustellen für das 11. Jahrhundert erstaunlich und beachtenswert. Diese Abhandlung hat zu dem Lehrgerät keine Beziehung; jedoch stellt W. in der Einleitung nach der Behandlung des Jahres eine Besprechung des „Himmelsgerüstes“, der Himmelskugel, der Sonnenuhr und des Astrolabs in Aussicht[3]). Dabei denkt W. unter „Himmelsgerüst“ (*status*) sicherlich an ein Gerät zur Darstellung der Verschiedenheiten der Himmelsgegenden im Gegensatz zu der Himmelskugel. Nach der Abhandlung über das Jahr, dessen Schluß der Abschreiber zur Ausnützung des Blattes an den Rand schrieb, folgen in dem Bande nicht die in Aussicht gestellten Werke. Dagegen gibt es in demselben Bande verstreut Abschriften von Arbeiten über die Sonnenuhr (5), Astrolab (6), Himmelskugel (7) und eine Zeichnung (8) zur Darstellung der Himmelskreise, genau wie auf der Bildsäule. Die Werke heißen: Über die Sonnen-

[1]) Wo es schon im 16 Jahrhundert stand.

[2]) Nach freundlicher Mitteilung von Herrn Prof. Karlinger.

[3]) *Et in spericis rationibus.,. et in horologicis institutionibus.,. et in astrolabicis subtilitatibus.,. et in illa ad quam modo tendimus mundani statu diversitate ... cum de eisdem rebus statu scilicet et spera et horologio et astrolabio plenius disseremus.*

uhr; Hermann der Lahme (1054) über die Herstellung des Astrolabs; Hermann der Lahme bzw. Gerbert († 1003) über den Gebrauch des Astrolabs und Adelpoldus (Zeitgenosse Gerberts) über die Kugel. Alle diese Werke waren schon im 11. Jahrhundert in Bayern verbreitet (9). Die im Bande 14689 vorliegenden Abschriften der beiden Arbeiten über das Astrolab zeigen nun auffällige Zusätze und Änderungen gegenüber den anderen Handschriften und Drucken (10), das deutliche Kennzeichen späterer Bearbeitung. Und der rein geometrischen Schrift des Adelpoldus (11) ist angefügt ein Zusatz (23b, 22a), betitelt *de mensura sperae*, wo die Auftragung der 5 Hauptkreise des Himmels auf eine Kugel, deren Umfang in 60 Teile geteilt ist, unter den gleichen Umständen wie auf der Bildsäule gelehrt wird. Diesen Zusatz hat der bekannte bayerische Geschichtsforscher Johann Turmair, genannt Aventin († Regensburg 1534) bei Durchsicht des Bandes mit einer Zeichnung (8) in Beziehung gebracht, die genau der Zeichnung auf der Bildsäule entspricht, nur daß die feinen Gradstriche fehlen, und also auch für 48° Polhöhe gilt. Die Zeichnung gehörte wohl nicht zu dem Zusatz, sondern stellte nur die Projektion der oben erwähnten Himmelskreise auf einen Längsschnitt dar, diente aber offenbar dem Unterricht wie das Himmelsgerüst, so daß mit dieser Zeichnung und den drei anderen Abhandlungen tatsächlich die Beschreibungen der vier Geräte vorhanden sind, welche Wilhelm in Aussicht stellte. Da nun von einem anderen Mönche zu St. Emmeran, der von der Mitte des 11. Jahrhunderts bis zum 12. Jahrhundert die Zusätze zu den drei Arbeiten und die Zeichnung verfertigt haben könnte — falls es sich nicht um Emmeraner Abschriften von anderswo entstandenen Arbeiten handelt —, nichts bekannt ist, so darf Wilhelm als der Verfasser der Zusätze zu den Abhandlungen und der Zeichnungen angesehen werden.

Gab es vor Wilhelms Zeit ähnliche Lehrgeräte? Die Erlernung der Lage der Pole und der 5 Hauptkreise am Himmel gehörte schon in den Klosterschulen des 8. Jahrhunderts zu den Gegenständen der Sternkunde, wie Alkuin berichtet (12), ob an Hand von Lehrgeräten ist unbekannt. Ähnlich war es in der Mitte des 10. Jahrh. nach dem Berichte des in Speier erzogenen Walther (13). Erst Gerbert scheint Geräte zu Unterrichtszwecken hergestellt zu haben. Er schildert die völlig gleiche Auftragung der Hauptkreise auf eine Kugel, wie in dem Zusatze, in einem Briefe (14) an Konstantin um die Jahrtausendwende. Zu Lehrzwecken teilt er aber die Kugel entlang einem Längenkreise und befestigt darüber, von Pol zu Pol reichend, einen eisernen halbkreisförmigen Bogen, der sieben zum Mittelpunkt zielende Röhren trägt, durch die man, wie mit Hilfe der Stifte an der Bildsäule, die Lage der Pole und der Hauptkreise bestimmen kann. Wenn auch nach dem Berichte des Richerus[15]), Gerberts Schüler, das Gerät in Reims zum Unterricht benutzt wurde, so scheint doch Gerbert seine unbequeme Handhabung nicht bemerkt zu haben, die darin bestand, daß die beiden von den Polen zur Mitte gehenden Röhren, die nach seinen eigenen Angaben eine zusammenhängende Röhre von doppelter Länge bilden, das Durchsehen durch die anderen Röhren verhindern. Merkwürdig ist seine Behauptung, daß man den südlichen Polarkreis sehen könne, während er nur den südlichen Pol durch die Erde verdeckt sein ließ. Gegenüber diesem Gerät stellt die Bildsäule mit ihren Stiften entschieden einen Fortschritt dar, zumal das Fehlen der Stifte am südlichen Polarkreis und südlichen Pol beweist, daß sich der Verfertiger der Unsichtbarkeit dieser Gegenden bewußt war. Ob das von Wilhelm *status mundanus* genannte Gerät der Bildsäule glich, läßt sich nicht nachweisen. Sicherlich mußte es, um seinem Zweck zu genügen, eine senkrecht aufgestellte Scheibe mit

einer Zeichnung wie auf der Bildsäule sein, wo der Mittelpunkt, der Nordpol und die Endpunkte der sichtbaren Himmelskreise irgendwie auffällig sichtbar gemacht sein mußten. Die hauptsächlichsten Merkmale, wie sie uns in der handschriftlichen Zeichnung überliefert sind, wurden dann auf die Bildsäule übertragen. — Wie lange die Bildsäule ihrem Zweck gedient hat, ist unbekannt. Turmair wußte im Anfange des 16. Jahrhunderts offenbar nichts von ihr, sonst hätte er die Zeichnung wiedererkannt. Um dieselbe Zeit hat der Abschreiber (1) der Inschrift die Bildsäule im Garten zu St. Emmeran gesehen und in Unkenntnis ihrer Bedeutung als Nachtuhr[1]) bezeichnet. Noch später wurde sie Astrolabium genannt, während zugleich eine Erinnerung an eine von Wilhelm herrührende Sonnenuhr lebte, so daß noch in der neuesten Zeit von zwei Bildsäulen die Rede ist. Tatsächlich ist die einzige in Regensburg befindliche Bildsäule, auf welche sich die Sache beziehen kann, das in St. Ulrich stehende Lehrgerät, das aller Wahrscheinlichkeit nach ein Merkmal des Wirkens Wilhelms in St. Emmeran ist.

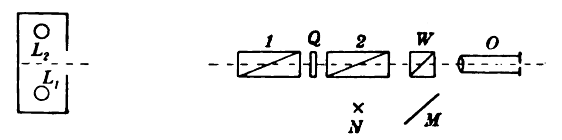
1) München, Staatsbibliothek, lat. Handschrift 14892, 217b.
2) München, Staatsbibliothek, deutsch. Handschrift 24 Stark. Nr. 5.
3) *Monumenta germaniae, Scriptores* 12, 211.
4) München, Staatsbibliothek, lat. Handschrift 14689, 85a—87b.
5) München, Staatsbibliothek, lat. Handschrift 14689, 79b—80a.
6) München, Staatsbibliothek, lat. Handschrift 14689, 81b—84b, 73b—79b.
7) München, Staatsbibliothek, lat. Handschrift 14689, 20b—21b, 23a, b.
8) München, Staatsbibliothek, lat. Handschrift 14689, 1b.
9) München, Staatsbibliothek, lat. Handschrift 560, 14272, 14836.
10) Pez, *Thesaurus anecdotarum* III 2, 95—106, 109—130.
Nic. Bubnov, *Gerberti postea Silvestris II papae Opera Mathematica*, Berlin 1899, S. 109—147.
11) Bubnov S. 300.
12) *Monumenta germaniae, poetae lat. aevi Carol.* 1, 201.
13) Pez, *Thesaurus anecdotarum* II 3, 45.
14) A. Olleris, *Oeuvres de Gerbert*, Clermont 1867, S. 471—475; Bubnov S. 24—28.
15) *Monumenta germaniae, Scriptores* 3, 617—618.

Referate.

Messung der Farbentemperatur starker Lichtquellen durch die Methode der Rotationsdispersion.

Von Irwin G. Priest *Journ. of the Opt. Soc. of Amer.* **6.** *S. 27, 1922.*

Zur Vornahme seiner Messungen, die in der Veröffentlichung selbst nachgesehen werden mögen, benutzt der Verfasser folgenden, hier kurz zu beschreibenden Apparat; derselbe ist schematisch in der Fig. dargestellt. Eine 0,5 mm dicke Quarzplatte Q zwischen zwei Nikolschen Prismen 1 und 2 dient infolge der verschiedenen Drehung der Schwingungsebenen für verschiedene Wellenlängen als Lichtfilter von einstellbarer spektraler Durchlässigkeit. Mittelst derselben kann die Farbe einer Vergleichslichtquelle L_1 in Übereinstimmung mit derjenigen der zu messenden Lichtquelle L_2 gebracht werden. Die Konstanten des Apparates sind so gewählt, daß die spektrale Bestimmung des aus dem Quarz-Nikol-System austretenden Lichtes immer durch die Plancksche Formel darge-



[1]) *Metra in statua marmorea in viridario nocturnalis horologii descripta.*

stellt wird. Kalorimetrisch gesprochen handelt es sich um die Veränderung der Temperatur eines schwarzen Körpers, bis seine Farbe in Übereinstimmung mit derjenigen der zu prüfenden Lichtquelle ist.

Der Versuch gestaltet sich nun folgendermaßen. Mittels eines Okulars *O* wird das Feld eines vor dem Nikol 2 aufgestellten Lummer-Brodhunschen Würfels *W* beobachtet. Die beiden Vergleichsflächen desselben werden von der Vergleichslichtquelle und von einem durch eine Normallichtquelle *N* beleuchteten Magnesia-Schirm *M* beleuchtet. Die spektrale Verteilung des Lichtes der Normallichtquelle ist bekannt. Während die Quarzplatte entfernt wird, wird der die Vergleichslampe speisende Strom so reguliert, daß die Färbung der beiden Vergleichsfelder des Lummer-Brodhun-Würfels dieselbe ist. Dieser Strom wird dann konstant erhalten. Nun wird die Lichtquelle, deren Farbentemperatur bestimmt werden soll, an die Stelle der Normallampe *N* gebracht, die Quarzplatte wieder eingesetzt und der Nikol 2 so gedreht, daß wieder Farbengleichheit hergestellt ist. Der Drehungswinkel gemessen vom Auslöschungspunkt bei entfernter Quarzplatte dient zur Ermittelung der Temperatur der Versuchslampe. Diese Ermittelung führt der Verf. durch ein graphisches Verfahren unter Zugrundelegung der Planckschen Formel aus, auf welches hier nicht näher eingegangen werden kann. *H. Krüss.*

Zur Vereinheitlichung der Theodolite(n).

Von H. Lips. *Allgem. Vermess. Nachr., Reiß, Liebenwerda. 34. S. 400—406. 1922.*

Bemerkungen zur „Normung" der Vermessungsinstrumente.

Von L. Ambronn. *Ebenda. 34. S. 673—676. 1922.*

Über die „Vereinheitlichung" der deutschen Vermessungsinstrumente, besonders der Theodolite (Universale) und Nivelliere, ist im letzten Dezennium viel geschrieben worden. Die Ziele der Vereinheitlicher sind dabei verschieden weit gesteckt: die einen streben nur an, daß die Zahl der Instrumentenmodelle für die verschiedenen Arbeiten des Erd- und des Landmessers, des Topographen und des Bauingenieurs auf verhältnismäßig wenige Typen verringert werde, mit gewissen Normalfestlegungen für die wichtigsten Bestandteile und Einrichtungen der Instrumente, z. B. Durchmesser und Einteilung der Teilkreise, Teilwerte der Libellen, Fernrohrvergrößerung usf.; die andern möchten die einzelnen Teile sogar derart „genormt" sehen, daß Ersatzteile in die einzelnen Instrumente aus verschiedenen Werkstätten passen würden.

Die zuerst genannte Etappe dieser Bestrebungen ist wohl ziemlich allgemein gebilligt worden; es sind ihr gewisse „Einheitsinstrumente" zu verdanken wie der Hildebrandsche „Einheitstheodolit": 12 cm-Grundkreis mit $^1/_3{}^0$-Teilung und Nonienablesung auf 30″; 9 cm-Höhenkreis $^1/_8{}^0$-Teilung, Nonienablesung 1′; Horizontierung durch zwei Kreuzlibellen mit 1′ Teilwert, für steile Zielungen bei Horizontalwinkeln Kippachsenlibelle 25″; abnehmbare Reitlibelle auf der Kippachse; Fernrohr 21 cm Brennweite des Objektivs und 19fache Vergrößerung, darauf Wende-Nivellierlibelle 25″. Das Instrument wird jetzt mit wesentlich denselben Abmessungen und Einrichtungen auch in andern Werkstätten gebaut; es kann als Einheits-Feldmeßinstrument zu folgenden Arbeiten benutzt werden: Kleintriangulation; Zugmessung; Tachymetrie auf freiem Feld (auch Nivellier-Tachymetrie) und im Wald; Einwägungen III. O.; Flächennivellement mit dem Nivellier; Absteckungsarbeiten. Vgl. zu diesem Instrument (20 Stück-Reihe) die Arbeit vou H. Lüdemann in *dieser Zeitschr. 40. S. 49—56. 1920* und den Aufsatz von Klempau in *Allgem. Vermess. Nachr. (Reiß) 34. S. 658—666. 1922*, besonders für den Gebrauchswert eines bestimmten Instrumentes dieser Klasse. Bei diesen Bestrebungen wird also eine Verringerung der Typenzahl der Instrumente dadurch angestrebt, daß die Abmessungen und Einrichtungen aller Teile mit Rücksicht darauf gewählt werden, ein bestimmtes Instrument für zahlreiche verschiedene Zwecke brauchbar und zweckmäßig zu gestalten.

Die ebenfalls bereits angedeuteten noch weitergehenden Bestrebungen sind, von einigen Normungsfanatikern abgesehen, ziemlich allgemein abgelehnt worden. Die *Z. f. Instrumentenk.* müßte Bogen zur Verfügung stellen können, wenn hier auch nur über den größten Teil der einschlägigen Arbeiten referiert werden sollte; es mag genügen, die hier im Titel genannten Arbeiten herauszugreifen.

Lips macht darauf aufmerksam, daß die frühere Preuß. Landesaufnahme mit der „Verein-

heitlichung“ vorangegangen sei, indem sie für ihre Triangulationen I., II. und III. O. Mikroskop-Theodolite mit 27-, 21- und 13 cm-Grund-Teilkreisen (Trommelablesung 0,2″, 2″, 5″) gewählt hat. Gefolgt ist 1910 die Preußische Katasterverwaltung mit dem “Katastertheodolit“ (14 1/2 cm-Grundkreisdurchmesser, 20″-Nonienablesung; vgl. „*Mitteilungen aus der Verwaltung der direkten Steuern*“. *51. S. 193ff. 1910*); über den „Einheits-Theodolit“ der Landesaufnahme von 1917 vgl. oben. Lips nimmt dann in seinen Typenvorschlag noch einen 9 cm-Einheitstheodolit mit Bussole auf (Ablesung an den Teilkreisen 1′, an der Bussole 0,1°), wesentlich nach einem Breithauptschen Modell mit Stirnteilung des Höhenkreises.

Ambronn erklärt sich im wesentlichen mit den Ansichten von Lips einverstanden, warnt aber bei der Auswahl der Typen davor, die Vereinheitlichung zu weit zu treiben, besonders wenn es sich „um größere, als Universalinstrumente anzusprechende Konstruktionen handelt“. Er hätte aber gegen eine in anderer Beziehung etwas weitergehende „Normung“ von Einzelteilen nichts einzuwenden, wie Form von Dreifüßen, Ganghöhe und Spindeldurchmesser der Fuß-, Befestigungs- und vielleicht auch der Feinschrauben, Distanz der Achsenlager, um Oberteil und Einzelteile von Instrumenten auswechseln zu können; z. B. werden auch die Lupenhalter als der Normung fähig erwähnt, da auch hier oft Auswechslung im Feld erwünscht sei. Im übrigen wünscht er Berücksichtigung der Typen weiterer Werkstätten als der von Lips angeführten, besonders der Sartorius-Werke in Göttingen, deren Instrumenten er zweckmäßigen und stabilen Bau bei einfachen Formen zuspricht. Er wünscht also bei Auswahl der Grundformen die Erzeugnisse möglichst verschiedener Werkstätten in Betracht gezogen zu sehen; er erinnert dabei u. a. an das geschlossene Fernrohr von konstanter Länge und mit innerer Fokussierlinse, das sich besonders an Nivellieren recht allgemeine Beliebtheit verschafft hat.

Der Ref. möchte nicht unterlassen, bei dieser Gelegenheit auch nochmals einen sprachlichen Vereinheitlichungswunsch vorzubringen. Fast alle vorstehend erwähnten Arbeiten sprechen nicht von einem bestimmten Theodolit, sondern dem oder jenem Theodoliten, setzen die Vorzüge oder Nachteile eines Theodoliten auseinander, indem sie einen andern Theodoliten mit ihm vergleichen. Könnten wir, nachdem wir das in Deutschland völlig sinnlos beigefügte *h* am Schluß des Wortes glücklich losgeworden sind (sinnlos, ob nun das Wort oder Bestandteile davon aus dem Griechischen stammen oder, wie wir wohl ganz sicher sagen können, nicht aus dem Griechischen stammen; vgl. meinen Aufsatz „Zur Geschichte des Theodolits und besonders seines Namens“, *Zeitschr. f. Vermessw. 37. S. 81—91. 1908*), nicht auch die ungefähr gleichaltrig überkommene eben angedeutete Deklination zugunsten des „Theodolits“ allgemein aufgeben und dem „Theodolit“ damit eine Wortnormung verschaffen? oder, welche Analogie spricht für Beibehaltung jener alten Deklination?

Hammer.

Streckenmessung mit Hilfe des Zeissschen Streckenmeßtheodolits.

Von P. Werkmeister. *Zeitschr. f. Verm. 51. S. 321 u. S. 353. 1922.*

Ausführliche Beschreibung des „Streckenmeßtheodolits“, eines Pulfrich-Zeissschen Instruments, das seit wenigen Jahren in das Landmessungsinstrumentarium eingeführt worden ist. Es ist, von den bei allen Geräten zur Horizontalwinkelmessung für Zugmessung oder Kleintriangulation wiederkehrenden Teilen abgesehen, ein Parallaxen-Entfernungsmesser mit der Basis im Endpunkt der zu bestimmenden Entfernung, wobei die Basislänge konstant, demnach der Parallaxenwinkel mit der Entfernung veränderlich ist und bei einigen Ansprüchen an die Genauigkeit der Streckenmessung mit großer Schärfe gemessen werden muß.

Man kann die sämtlichen Parallaxenentfernungsmesser, die die zu ermittelnde Entfernung bestimmen als Seite eines Dreiecks mit einer im Verhältnis zu ihr sehr kurzen Basisseite, einteilen in zwei Klassen, je nachdem die kurze Grundlinie dieser besondern Art von Dreiecksmessung dem Anfangspunkt der zu messenden Entfernung anliegt (am Standpunkt des Instruments) oder in ihrem Endpunkt (Zielpunkt) angebracht ist. Man pflegt diese zwei Klassen als Entfernungsmesser ohne Latte und mit Latte zu bezeichnen; und da man in jeder Klasse die Wahl hat, den kleinen „entfernungsmessenden“ parallaktischen Winkel konstant zu halten und somit die

Grundstrecke mit der Entfernung veränderlich zu machen, oder umgekehrt, so ergeben sich die folgenden vier Gruppen von Parallaxen-Entfernungsmessern:

I. Basis am Standpunkt, „Entfernungsmesser ohne Latte";

a) Basis konstant, parallaktischer Winkel veränderlich mit der Entfernung,

b) Basis mit der Entfernung veränderlich, Parallaxenwinkel konstant.

II. Basis (Lattenstück) im Endpunkt, „Entfernungsmesser mit Latte";

a) Basis konstant, parallaktischer Winkel veränderlich mit der Entfernung,

b) Basis (Lattenstück) mit der Entfernung veränderlich, Parallaxe konstant[1]).

Zur Entfernungsmessung beim „Streckenmeßtheodolit" ist nun von Pulfrich nach dem Vorgang seiner Einrichtung zur Grundstreckenmessung für stereophotogrammetrische Zwecke das Verfahren IIa gewählt worden; und zwar ist die konstante Basisstrecke am Endpunkt, je nach der Länge der zu messenden Strecke zu wählen, 1 m, 2 m oder 3 m lang, und hat die Form einer horizontal gelegten Metallschiene mit scharfen Zielzeichen in den Endpunkten. Zur Messung des mit der zu bestimmenden Horizontalstrecke s veränderlichen Parallaxenwinkels β dient ferner die feinste Vorrichtung, die in Betracht kommen kann, das Schraubenmikrometer.

Ist die konstante horizontale Basisschiene b normal zur Fernrohrzielung gelegt, wozu an jener eine verhältnismäßig nicht feine Dioptervorrichtung genügt, so ist in für alle hier in Betracht kommenden Fälle genügender Näherung

1) $s = \frac{b}{\operatorname{arc}\beta}$, wo also, wenn β in $''$ genommen wird, $\operatorname{arc}\beta = \frac{\beta''}{206\,265''}$ ist. Um die Einflüsse bestimmter Fehler db und $d\beta''$ zu untersuchen, differentiieren wir 1) mit dem Ergebnis:

2) $ds = \frac{db}{\operatorname{arc}\beta} - \frac{b}{(\operatorname{arc}\beta)^2} \cdot \frac{d\beta''}{206\,265''}$. Um die für eine bestimmte Genauigkeitsforderung notwendige Genauigkeit in β kennen zu lernen, können wir hier absehen vom ersten Glied rechts in 2., d. h., β und $d\beta$ als arc genommen, setzen:

3) $ds = -\frac{b}{\beta^2} \cdot d\beta$ oder mit Rücksicht auf 1) den relativen Fehler in β,

4) $\frac{ds}{s} = -\frac{d\beta}{\beta} = -\frac{s}{b} \cdot d\beta$. Diese letzte Gleichung liefert sofort die für eine bestimmte relative Genauigkeit der Entfernung, $\frac{ds}{s}$, und bei bestimmter fester Basislänge b erforderliche Genauigkeit in β, nämlich (vom Vorzeichen abgesehen)

5) $d\beta'' = \frac{ds}{s} \cdot \frac{b}{s} \cdot 206\,265''$.

Ein Nomogramm dieser Gleichung wäre äußerst einfach herzustellen; es genügen aber zur bequemen Übersicht der erforderlichen $d\beta''$ auch ganz wenige Zahlen, die hier für

$b = 1$ m, 2 m, 3 m (s. oben) und für die verlangten relativen Genauigkeiten $\frac{ds}{s} = \frac{1}{200}, \frac{1}{1000}$ und $\frac{1}{5000}$ zusammengestellt sein mögen. Die Zahlen $d\beta''$ sind auf 1″ oder 0,1″ abgerundet, wobei $d\beta \lesseqgtr 0{,}2''$ als in einer Einstellung des Mikrometers sicher nicht erreichbar weggelassen sind.

I. $\frac{ds}{s} = \frac{1}{200}$ verlangt; Werte von $d\beta''_{max}$.

$s =$	$b = 1$ m	$b = 2$ m	$b = 3$ m
100 m	$d\beta = 10''$	$d\beta = 21''$	$d\beta = 31''$
200 „	5″	10″	15″
500 „	2″	4″	6″
1000 „	1″	2″	3″

[1]) Über diese Einteilung, die ich auch in der vorliegenden Zeitschrift schon einmal gelegentlich erläutert habe, vgl. meinen Aufsatz in der *Zeitschr. f. Verm.* **20**, *S. 193 ff. 1891.*

II. $\frac{ds}{s} = \frac{1}{1000}$ verlangt; Werte von $d\beta''_{max}$.

$s =$	$b = 1$ m	$b = 2$ m	$b = 3$ m
100 m	$d\beta = 2''$	$d\beta = 4''$	$d\beta = 6''$
200 „	1″	2″	3″
500 „	0,4″	0,8″	1,2″
1000 „	(0,2″)	0,4″	0,6″

III. $\frac{ds}{s} = \frac{1}{5000}$ verlangt; Werte $d\beta''_{max}$.

$s =$	$b = 1$ m	$b = 2$ m	$b = 3$ m
100 m	$d\beta = 0{,}4''$	$d\beta = 0{,}8''$	$d\beta = 1{,}2''$
200 „	(0,2″)	0,4″	0,6″
500 „	—	(0,16″)	(0,24″)
1000 „	—	—	—

Den (theoretischen) Genauigkeitszahlen, die zur Beurteilung von Leistung oder Forderung von Entfernungsmessern nach IIa vollständig ausreichen, sollte man, wie ich glaube, die oben gewählte Form geben.

Dem Leser sei empfohlen, sich ähnliche Zusammenstellungen für die drei andern Formen von Parallaxen-Entfernungsmessern selbst herzustellen.

In der *S. 285*, Anmerkung, angedeuteten Notiz in *dieser Zeitschr.* habe ich auch schon mitgeteilt, daß ich (und vor mir gewiß schon viele andere) das Prinzip IIa, konstante horizontale Basisstrecke im Endpunkt, Messung des mit s veränderlichen Parallaxenwinkels β, schon vor Jahrzehnten einfach so benützt habe, daß der Horizontalwinkel zwischen zwei auf einem (nicht besonders bearbeiteten) quer zu β gelegten „Distanzbalken“, in genügend genau 3,000 m Entfernung angebrachten Kartonmarken mit einem 20″-Nonien-Theodolit 6 mal repetiert wurde. Bei den äußerst leicht aufzusuchenden und ohne Veränderung des Höhenwinkels der Zielung einzustellenden scharfen Zielpunkten nimmt dieses Geschäft, bei guter Genauigkeit der Messung, 2 bis 3 min in Anspruch, erspart also im Vergleich mit der unmittelbaren Messung der Strecke, besonders wenn dabei fast stets gelotet werden muß, noch ziemlich viel Zeit; und wenn bei jener Art der Parallaxenmessung selbst mit $d\beta = \pm 5''$ gerechnet werden muß und also bei $\frac{ds}{s} = \frac{1}{200}$ nicht über etwa 600 m, bei $\frac{ds}{s} = \frac{1}{1000}$ nicht über etwa 200 m in s hinausgegangen werden kann, so ist doch dieses grobe Verfahren noch für viele Zwecke ganz hinreichend genau und kann mit dem zur Hand befindlichen „Einheitsinstrument“ statt mit einem teuren Spezialinstrument gemacht werden.

Bei den geschichtlichen Notizen des Verf. *S. 322/23* hätte neben dem verständnisvollen „Aufgreifen“ des Vorschlags des Verf. (Tangentenschraube) durch den Führer der bayr. Kriegsvermessungsabteilung wohl angeführt werden können die Pulfrichsche Notiz (vgl. „Meß“ 332, Jena, *S. 6/7*), nach der „die Idee, im Interesse der leichten Transportfähigkeit des Instruments“ (Phototheodolit) „das Mikrometerwerk von dem Phototheodolit zu trennen und an einem theodolitartig gebauten Instrument mit kippbarem Fernrohr und Horizontalkreis zum Zweck der Messung von Standlinien und Entfernungen anzubringen, so alt ist wie das Verfahren selbst“; ja es ist schon im Jahre 1911 ein Instrument dieser Art von Jena nach St. Gallen geliefert worden. — Ferner hätte neben dem Hinweis auf die ältern Verwendungen der vertikal wirkenden Tangentenschraube (besonders Hogrewe 1800) die Bemerkung nicht fehlen sollen, daß auch feine Schraubenmessung kleiner horizontaler Winkel verhältnismäßig sehr alt ist; ich verweise nur als auf eine der leichtest zugänglichen Quellen auf Tob. Mayer (jun.), Praktische Geometrie, I. Teil 1792, S. 368ff., 372/73, mit Tafel V. Es ist keinerlei wesentlicher Unterschied jener Ein-

richtung zur Schraubenmessung kleiner Horizontalwinkel und den heutigen Anwendungen vorhanden; sie geht in jener Form selbstverständlich auf den großen Vater des Verfassers der „Praktischen Geometrie“ (und grundsätzlich noch viel weiter) zurück. Es wäre ja in der Tat geradezu merkwürdig, wenn die Feinschraube mit geteilter Trommel, die unter den Händen von Ira Ramsden u. a. zum ausgezeichnetsten Ablesemittel an Teilungen geworden war, nicht gleichzeitig auch in dem hier betrachteten Sinn gebraucht worden wäre.

Auf die Pulfrichsche Konstruktion, die, wie nicht anders zu erwarten, bis in alle Einzelheiten hinein mit großer Sorgfalt ausgebildet ist, gehe ich hier so wenig ein wie auf die einfache Anwendung des Instruments. Der Verfasser bietet im ganzen wenige praktische Messungsergebnisse, so daß ein Vergleich mit den oben stehenden kleinen Tabellen nicht angeht. Daß der Streckenmeßtheodolit gute Genauigkeiten in Messung der *s* bieten kann, ist jedoch zweifellos. Vergleiche in dieser Beziehung mit dem Prinzip IIb sind aber ebenfalls noch nicht möglich, weil für die bis jetzt feinsten Einrichtungen der zuletzt genannten Art noch zu wenige Ergebnisse vorliegen; jedenfalls käme dabei auch für Feinmessungen unter IIb nur die horizontalliegende Latte in Betracht: sind doch von mehreren Seiten wirkliche Feinmessungen nach IIb mit vertikal stehender Latte wegen der Differentialrefraktion nahe beim Erdboden überhaupt für nicht möglich erklärt worden.

Ich habe aber auch wesentliche Bedenken gegen den Bildmeßtheodolit geltend zu machen: wie Fig. 1, *S. 325* a. a. O. zeigt und wie mir eigene Erfahrungen bewiesen haben, ist der empfindlichste Teil des Instruments, die über den Limbusrand vorstehende Feinmeßschraube, Beschädigungen sehr stark ausgesetzt; man muß geradezu sagen, daß mit Rücksicht hierauf der neue Theodolit viel sorgfältigere Behandlung verlangt als andere Feldinstrumente. Dies wird bei dem Gebrauch, für den er ursprünglich bestimmt war (im Jahre 1918 sind 10 Instrumente an unsere Front in Frankreich geliefert worden) kaum genügend zu erreichen sein; und auch auf „Forschungsreisen“, für die der Verf. das Instrument besonders empfiehlt, wo dieses aber ebenfalls in sehr verschiedene Hände zu kommen pflegt, würde es mit ziemlicher Sicherheit aus dem angedeuteten Grund allein, neben andern, Enttäuschungen bringen. Sehr deutliche Spuren unsachgemäßer Behandlung der Meßschraube habe ich an mehreren Instrumenten wahrgenommen. Ferner ist gewiß vielen, die sog. „Einheits“instrumenten zustreben, unwillkommen nun gerade für eine der häufigsten Aufgaben, die Zugmessung, zu einem (nebenbei maßlos teuer gewordenen) Sondergerät greifen zu sollen, das zudem in mehreren Teilen, so auch in der als konstante Lattenstrecke dienenden Metallschiene, unhandlich, nicht bequem tragbar und viel zu schwer gebaut (eigentliches Instrument) erscheint; fast alle mir in die Hand gekommenen Latten dieser Art sind verbogen oder verbeult, die Zielzeichen nicht mehr genügend in Ordnung usf. Kurz, ich glaube, daß der Verf. die Möglichkeiten rationeller praktischer Anwendung der an sich sehr schönen Konstruktion bedeutend überschätzt. *Hammer.*

Neuer Präzisions-Kompensator mit Kurbelschaltung der Hartmann & Braun A.-G. in Frankfurt a. M.

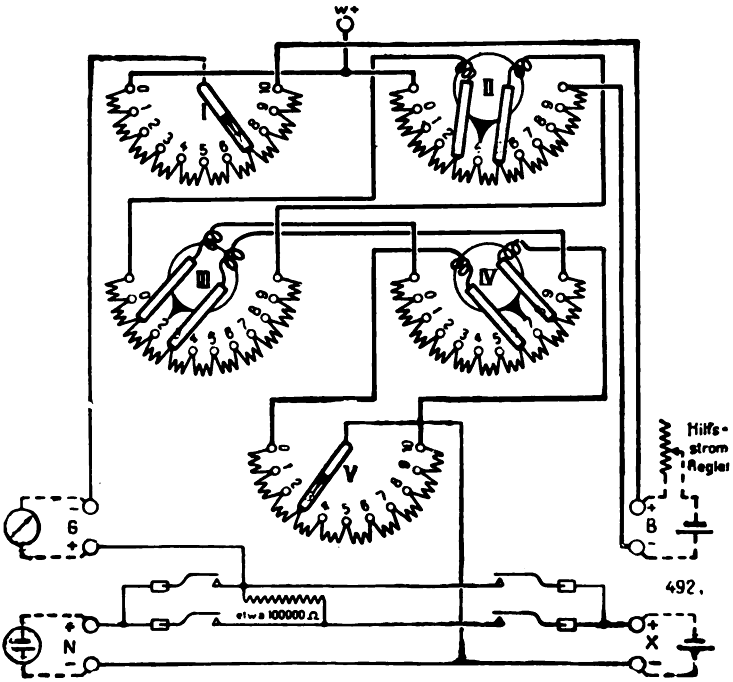
Dieser neue Kompensator ist von dem Gesichtspunkte aus gebaut, zu einem möglichst niedrig gehaltenen Preise ein Gerät zur Verfügung zu stellen, das den höchsten Anforderungen an die Meßgenauigkeit entspricht.

Zum Abzweigen von dem Gesamtwiderstand von 11000 Ohm ist die Kurbelschaltung gewählt, und zwar, wie Figur zeigt, unter Verwendung zweier Einfachkurbeln und dreier Doppelkurbeln. Die beiden Einfachkurbeln der ersten und letzten Dekade I und V bilden die Abzweigstellen, die nach erfolgter Abgleichung stromlos sind, so daß ihre Übergangswiderstände nicht ins Gewicht fallen. Die drei mittleren Dekaden II, III und IV enthalten je elf Widerstände derart, daß jede der drei letzten Dekaden (III, IV, V) durch die betreffende Doppelkurbel k_2, k_3 und k_4 zu zwei Teilwiderständen der vorhergehenden Dekade parallel geschaltet wird. Da jede der drei letzten Dekaden (III, IV, V) den gleichen Gesamtwiderstand hat, wie die zwei zu ihr parallel geschalteten Teilwiderstände der vorhergehenden Dekade, so ist der Gesamtwiderstand zwischen den beiden Hebeln jeder Doppelkurbel gleich einem Teilwiderstand ihrer Dekade. Die

Spannung zwischen den beiden Hebeln jeder Doppelkurbel wird demnach durch die parallel geschaltete Dekade in zehn gleiche Teile unterteilt, so daß für die Abgleichung der Gesamtwiderstandssatz in Tausender, Hunderter, Zehner, Einer und Zehntel unterteilt erscheint.

Mit Hilfe dieser von Feußner angegebenen Schaltung ist die Kompensations-Spannung mit fünf geltenden Ziffern, z. B. 0,83365 V (bzw. bei mit 1,0 beginnenden Zahlen mit sechs Ziffern z. B. 1,01862 V) abzulesen.

Die Hilfsstromstärke kann 0,1 oder 1 Milliampere betragen. Bei 0,1 Milliampere ist der unmittelbare Meßbereich 1,1 Volt, und die letzte einstellbare Ziffer ergibt 10^{-5} Volt. Bei 1 Milliampere ist der Meßbereich 11 Volt und die letzte einstellbare Ziffer gibt 10^{-4} Volt. Mit Hilfe entsprechender Spannungsteiler (s. u.) kann der Meßbereich auf 110 Volt und auf noch höhere Werte erweitert werden.



Außer dem Hauptwiderstand mit Kurbeleinstellung enthält das Gerät einen Schutzwiderstand von etwa 100000 Ohm für das Galvanometer, ferner vier Galvanometerschlüssel mit je einer federnden und einer Dauerstellung und schließlich die erforderlichen Anschlußklemmen. Je nach der Wahl des betätigten Galvanometerschlüssels wird entweder der Stromkreis des Normalelementes oder derjenige der zu messenden Spannung mit oder ohne Schutzwiderstand geschlossen.

Außer als Kompensator kann das Gerät unter Zuhilfenahme eines Vergleichswiderstandes auch als Wheatstonesche Brücke benutzt werden, wobei der zwischen den Klemmen $W+$ und $B-$ liegende Widerstand die Stelle eines Schleifdrahtes vertritt, so daß der Abzweigungspunkt mit vier geltenden Ziffern abgelesen werden kann.

Als Zubehör werden zu dem vorstehenden Kompensator geliefert:

Spannungsteiler zur Erzielung der zwei weiteren Meßbereiche 11 und 110 Volt oder der drei weiteren Meßbereiche 11, 110 und 1100 Volt, in beiden Fällen bei 0,1 Milliampere im Kompensator.

Nebenschlußwiderstand zur Verkleinerung des Kompensator-Meßbereiches auf 0,11 und auf 0,011 Volt, zur Erhöhung der Genauigkeit innerhalb dieser verkleinerten Meßbereiche.

Kurbelwiderstand von $10 \cdot (1000 + 100 + 10 + 1 + 0{,}1)\ \Omega$ zur Regelung des Hilfsstromes.

Standard-Element nach Weston oder Normal-Element nach Weston.

Einzelliger Sammler von etwa 3 Volt und etwa 45 Amperestunden.

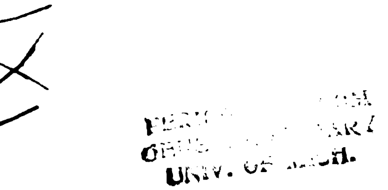
Drehspul-Spiegelgalvanometer mit getrenntem Fernrohr nebst Skale oder mit angebautem Fernrohr mit Skale.

Ferner für Strommessungen und zur Verwendung des Kompensators geeignete Widerstände. *E. N.*

Buchhändler-Schlüsselzahl am 6. Oktober 1923: **75000000.**

Die Schlüsselzahl drückt die im Buchhandel eingetretene Entwertung aus; die Grundzahl entspricht dem ungefähren Vorkriegspreis. Grundzahl (GZ.) vervielfacht mit Schlüsselzahl (S.) ergibt den Verkaufspreis.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.



ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

10. Heft: Oktober.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1923.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im Inlande durch den Buchhandel oder unmittelbar von der Verlagshandlung bezogen werden. Diese Stellen erteilen auch Auskunft über den jeweiligen monatlichen Bezugspreis.

Im Auslande ist die „Zeitschrift für Instrumentenkunde“ nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlage zu beziehen.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei $\frac{1/4 \quad 1/2 \quad 1/1}{22.50 \quad 45.— \quad 90.—}$ Seite Umfang Goldmark

Bei $\frac{6 \quad 12}{10 \quad 20\,\%}$ malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,20 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum Berliner Dollarbriefkurs des Vortages der Zahlung. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Rücksendung von Bildstöcken erfolgt zu Lasten der Eigentümer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. h. c. **H. Krüss**, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel**,
Prof. Dr. **F. Weidert**, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **Oktober 1923.** Zehntes Heft.

Totalreflektierende Prismen.

Von
Prof. **H. Cranz** in Stuttgart.

Die bei wissenschaftlichen Instrumenten immer mehr zur Verwendung gelangenden totalreflektierenden Prismen beruhten bisher im Wesentlichen nur auf einer versuchsweisen Zusammenstellung einfacher — meist rechtwinkliger — Spiegelprismen, deren Wirkung und Brauchbarkeit erst nachträglich festgestellt werden mußte. Der Verfasser hat sich zur Aufgabe gestellt, eine allgemeine Methode für die Konstruktion solcher Spiegelanordnungen auszuarbeiten. Für gegebene Ablenkung der optischen Achse und gegebene Verdrehung des Bildes sollen a priori die Lagen der einzelnen spiegelnden Flächen angegeben werden. Es wurden Prismen mit drei, vier und fünf totalreflektierenden Flächen allgemein untersucht und zahlreiche Formen sowohl durch allgemeine Formeln erläutert als durch Zahlenbeispiele belegt.

1. Kapitel.

Aufstellung von Fundamentalgleichungen für den Durchgang eines Strahles durch ein Spiegelsystem.

Einleitung: Totalreflektierende Prismen werden meistens als Teile größerer optischer Instrumente verwendet und erfüllen darin einen doppelten Zweck:

Das Licht soll um einen bestimmten Winkel, meistens 90^0 (rechtwinklig abbiegende Prismen), 180^0 (Rückkehrprismen), 360^0 (nichtablenkende, geradsichtige oder seitlich verschiebende Prismen), aus seiner Richtung abgelenkt werden. Außerdem soll das durch das Prisma hindurchgesehene Bild eines Gegenstandes, gegenüber dem Gegendstand selbst, entweder die gleiche Stellung haben (nichtumkehrend) oder einseitig umgewendet werden, sei es von links nach rechts oder von oben nach unten (Umwende- oder Aufrichteprismen), oder vollständige Bildumkehr, d. h. Verdrehung um 180^0 zeigen (vollständig umkehrende Prismen). Auch kann beabsichtigt sein, das Bild, ohne oder mit Umwendung oder vollständige Umkehrung, um einen gewissen Winkel gegen die Originalstellung zu drehen. Für einseitige Umwendung muß die Zahl der spiegelnden Flächen ungerade, für vollständige Umkehrung dagegen gerade sein.

Das ins Prisma eintretende und an der Eintrittsfläche gebrochene Licht ist stets durch eine kreisrunde Öffnung des Instrumentes begrenzt, daher ist auch die Eintrittsfläche kreisrund, ebenso wie die Austrittsfläche. Beide müssen, wenn das Instrument Linsen besitzt und zur Abbildung naher Gegenstände verwendet werden soll, senkrecht auf der Mittelachse des durch die Eintrittsöffnung hereinkommenden

Lichtbüschels stehen, um störende astigmatische Bildverzerrungen, infolge der Brechung an beiden Flächen, zu vermeiden. Da nun fast immer die Austrittsfläche des Prismas gleichen Durchmesser besitzt wie die Eintrittsfläche, so wird im Prisma ein lichterfüllter, zylindrisch begrenzter Raum von Fläche zu Fläche gehen, um dort reflektiert zu werden. Die zur Reflexion dienenden Teile der geschliffenen Spiegelflächen bilden Ellipsen, deren kleine Halbachse gleich r und deren große Halbachse gleich $\frac{r}{\cos\varepsilon}$ ist, wenn r den Radius des Lichtzylinders und ε den Einfallswinkel bedeutet, den die Lichtzylinderachse mit der Normale der spiegelnden Fläche bildet.

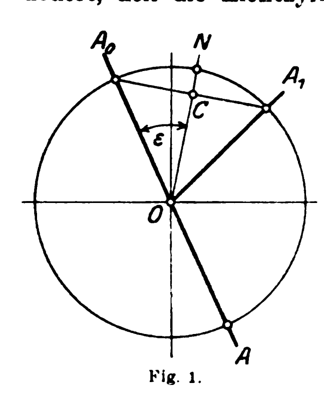


Fig. 1.

§ 1. Zunächst handelt es sich nur um Bestimmung von Lichtrichtungen. Man kann sich deshalb alle Lichtrichtungen und alle spiegelnden Flächen mit ihren nach der Spiegelseite hingerichteten Normalen durch den Ursprung eines rechtwinkligen Koordinatensystems gelegt denken. Fig. 1. Eine um diesen Ursprung, mit Radius 1 beschriebene Kugel wird durch einen von der Eintrittsfläche kommenden Strahl in A_0 beim Eintritt, in A beim Austritt getroffen. Das an der ersten Fläche reflektierte Licht hat die Richtung OA_1. ON sei die Normale der ersten Fläche. Dann sind die $\sphericalangle A_0ON$ und $\sphericalangle NOA_1$ einander gleich und die Koordinaten des Punktes C, in welchem A_0A_1 und ON einander schneiden, sind je das arithmetische Mittel aus den entsprechenden Koordinaten von A_0 und A_1. Man bezeichne die Koordinaten von A_0 mit x_0, y_0, z_0, die von A_1 mit x_1, y_1, z_1, die von N mit a_1, b_1, c_1, die von A mit x, y, z. Dann ist:

$$x = -x_0, \qquad y = -y_0, \qquad z = -z_0,$$
$$\cos\varepsilon = -(xa_1 + yb_1 + zc_1).$$

Die Koordinaten von C sind kleiner als die entsprechenden von N, und zwar im Verhältnis $\cos\varepsilon : 1$, also sind sie bzw.:

$$-a_1(a_1x + b_1y + c_1z),$$
$$-b_1(a_1x + b_1y + c_1z),$$
$$-c_1(a_1x + b_1y + c_1z).$$

Somit ist:

$$-2a_1(a_1x + b_1y + c_1z) = -x + x_1,$$
$$-2b_1(a_1x + b_1y + c_1z) = -y + y_1,$$
$$-2c_1(a_1x + b_1y + c_1z) = -z + z_1$$

oder:

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= x - 2a_1D_1 \\ y_1 &= y - 2b_1D_1 \\ z_1 &= z - 2c_1D_1 \end{aligned}\right\} \qquad 1)$$

wenn

$$D_1 = a_1x + b_1y + c_1z \qquad 1a)$$

den cos vom Supplement des Einfallswinkels an der ersten Fläche bedeutet. Wenn nun für eine zweite Fläche die Richtungskosinusse der spiegelseitigen Normale mit a_2, b_2, c_2, der Kosinus des Supplements für den Einfallswinkel, d. h. der Kosinus des

Winkels $A_1 O N_2$ mit D_2 und die Richtungskosinusse der an der zweiten Fläche reflektierten Richtung mit x_2, y_2, z_2 bezeichnet werden usw., so erhält man ebenso:

$$\left.\begin{aligned} x_2 &= x_1 - 2\, a_2\, D_2 \\ y_2 &= y_1 - 2\, b_2\, D_2 \\ z_2 &= z_1 - 2\, c_2\, D_2 \end{aligned}\right\} \qquad 2)$$

wo

$$D_2 = a_2\, x_1 + b_2\, y_1 + c_2\, z_1 \qquad 2\text{a})$$

ist. Ferner:

$$\left.\begin{aligned} x_3 &= x_2 - 2\, a_3\, D_3 \\ y_3 &= y_2 - 2\, b_3\, D_3 \\ z_3 &= z_2 - 2\, c_3\, D_3 \end{aligned}\right\} \qquad 3)$$

$$D_3 = a_3\, x_2 + b_3\, y_2 + c_3\, z_2 \qquad 3\text{a})$$

Multipliziert man in 1) die drei Gleichungen der Reihe nach mit a_2, b_2, c_2, so erhält man durch Addition:

$$D_2 = L_2 - 2\, C_{12}\, L_1 \qquad 4\text{a})$$

wo zur Abkürzung:

$$\left.\begin{aligned} L_1 &= D_1 = a_1 x + b_1 y + c_1 z \\ L_2 &= a_2 x + b_2 y + c_2 z \\ C_{12} &= a_1 a_2 + b_1 b_2 + c_1 c_2 \end{aligned}\right\} \qquad 4\text{b})$$

gesetzt ist. Ebenso erhält man aus den Gleichungen 2) und 4a):

$$\left.\begin{aligned} x_2 &= x - 2\, a_1\, L_1 - 2\, a_2\, L_2 + 4\, a_2\, C_{12}\, L_1 \\ y_2 &= y - 2\, b_1\, L_1 - 2\, b_2\, L_2 + 4\, b_2\, C_{12}\, L_1 \\ z_2 &= z - 2\, c_1\, L_1 - 2\, c_2\, L_2 + 4\, c_2\, C_{12}\, L_1 \end{aligned}\right\} \qquad 4)$$

Hieraus durch Multiplikation mit a_3, b_3, c_3 und Addition:

$$D_3 = L_3 - 2\, C_{13}\, L_1 - 2\, C_{23}\, L_2 + 4\, C_{12}\, C_{23}\, L_1 \,. \qquad 5\text{a})$$

Aus 3), 4) und 5a):

$$\left.\begin{aligned} x_3 = x &- 2\, a_1 L_1 - 2\, a_2 L_2 - 2\, a_3\, L_3 + 4\, a_2\, C_{12}\, L_1 + 4\, a_3\, C_{13}\, L_1 + 4\, a_3\, C_{18}\, L_2 \\ &- 8\, a_3\, C_{23}\, C_{12}\, L_1 \\ y_3 = y &- 2\, b_1\, L_1 - 2\, b_2\, L_2 - 2\, b_3\, L_3 + 4\, b_2\, C_{12}\, L_1 + 4\, b_3\, C_{13}\, L_1 + 4\, b_3\, C_{13}\, L_2 \\ &- 8\, b_3\, C_{23}\, C_{12}\, L_1 \\ z_3 = z &- 2\, c_1\, L_1 - 2\, c_2\, L_2 - 2\, c_3\, L_3 + 4\, c_2\, C_{12}\, L_1 + 4\, c_3\, C_{13}\, L_1 + 4\, c_3\, C_{12}\, L_2 \\ &- 8\, c_3\, C_{23}\, C_{12}\, L_1 \end{aligned}\right\} \qquad 5)$$

§ 2. Grundformeln für die Richtung des nach Reflexion an vier oder fünf Flächen austretenden Lichtes.

In weiterer Verfolgung der in § 1 angegebenen Rechnungsoperationen erhält man

$$\left.\begin{aligned} D_4 = L_4 &- 2\, C_{14}\, L_1 - 2\, C_{24}\, L_2 - 2\, C_{31}\, L_3 + 4\, C_{21}\, C_{12}\, L_1 + 4\, C_{34}\, C_{13}\, L_1 + 4\, C_{34}\, C_{23}\, L_3 \\ &- 8\, C_{34}\, C_{23}\, C_{12}\, L_1 \end{aligned}\right\} \qquad 6\text{a})$$

$$\left.\begin{aligned} x_4 = x &- 2\, a_1\, L_1 - 2\, a_2\, L_2 - 2\, a_3\, L_3 - 2\, a_4\, L_4 + 4\, a_2\, C_{12}\, L_1 + 4\, a_3\, C_{12}\, L_1 \\ &+ 4\, a_3\, C_{23}\, L_2 + 4\, a_4\, C_{14}\, L_1 + 4\, a_4\, C_{24}\, L_2 + 4\, a_4\, C_{34}\, L_3 - 8\, a_3\, C_{23}\, C_{12}\, L_1 \\ &- 8\, a_4\, C_{24}\, C_{12}\, L_1 - 8\, a_4\, C_{34}\, C_{13}\, L_1 - 8\, a_4\, C_{34}\, C_{23}\, L_2 + 16\, a_4\, C_{34}\, C_{23}\, C_{12}\, L_1 \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} y_4 = y &- 2\, b_1\, L_1 - 2\, b_2\, L_2 - 2\, b_3\, L_3 - 2\, b_4\, L_4 + 4\, b_2\, C_{12}\, L_1 + 4\, b_3\, C_{12}\, L_1 \\ &+ 4\, b_3\, C_{23}\, L_2 + 4\, b_4\, C_{14}\, L_1 + 4\, b_4\, C_{24}\, L_2 + 4\, b_4\, C_{34}\, L_3 - 8\, b_3\, C_{23}\, C_{12}\, L_1 \\ &- 8\, b_4\, C_{24}\, C_{12}\, L_1 - 8\, b_4\, C_{34}\, C_{13}\, L_1 - 8\, b_4\, C_{34}\, C_{23}\, L_2 + 16\, b_4\, C_{34}\, C_{23}\, C_{12}\, L_1 \end{aligned}\right\} \quad (2) \quad 6)$$

$$\left.\begin{aligned} z_4 = z &- 2\, c_1\, L_1 - 2\, c_2\, L_2 - 2\, c_3\, L_3 - 2\, c_4\, L_4 + 4\, c_2\, C_{12}\, L_1 + 4\, c_3\, C_{12}\, L_1 \\ &+ 4\, c_3\, C_{23}\, L_2 + 4\, c_4\, C_{14}\, L_1 + 4\, c_4\, C_{24}\, L_2 + 4\, c_4\, C_{34}\, L_3 - 8\, c_3\, C_{23}\, C_{12}\, L_1 \\ &- 8\, c_4\, C_{24}\, C_{12}\, L_1 - 8\, c_4\, C_{34}\, C_{13}\, L_1 - 8\, c_4\, C_{31}\, C_{23}\, L_2 - 16\, c_4\, C_{34}\, C_{23}\, C_{12}\, L_1 \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

$$\left.\begin{aligned}
x_5 = x &- 2a_1L_1 - 2a_2L_2 - 2a_3L_3 - 2a_4L_4 - 2a_5L_5 + 4a_2C_{12}L_1 + 4a_3C_{13}L_1 \\
&+ 4a_3C_{23}L_2 + 4a_4C_{14}L_1 + 4a_4C_{24}L_2 + 4a_4C_{34}L_3 + 4a_5C_{15}L_1 + 4a_5C_{25}L_2 \\
&+ 4a_5C_{35}L_3 + 4a_5C_{45}L_4 - 8a_3C_{23}C_{12}L_1 - 8a_4C_{24}C_{12}L_1 - 8a_4C_{34}C_{13}L_1 \\
&- 8a_4C_{34}C_{23}L_2 - 8a_5C_{25}C_{12}L_1 - 8a_5C_{35}C_{13}L_1 - 8a_5C_{35}C_{23}L_2 - 8a_5C_{45}C_{14}L_1 \\
&- 8a_5C_{45}C_{24}L_2 - 8a_5C_{45}C_{34}L_3 + 16a_4C_{34}C_{23}C_{12}L_1 + 16a_5C_{45}C_{23}C_{12}L_1 \\
&+ 16a_5C_{45}C_{24}C_{12}L_1 + 16a_5C_{45}C_{34}C_{13}L_1 + 16a_5C_{45}C_{34}C_{23}L_2 - 32a_5C_{45}C_{34}C_{23}C_{12}L_1 \\
y_5 = y &- 2b_1L_1 - 2b_2L_2 - 2b_3L_3 - 2b_4L_4 - 2b_5L_5 + 4b_2C_{12}L_1 + 4b_3C_{13}L_1 \\
&+ 4b_3C_{23}L_2 + 4b_4C_{14}L_1 + 4b_4C_{24}L_2 + 4b_4C_{34}L_3 + 4b_5C_{15}L_1 + 4b_5C_{25}L_2 \\
&+ 4b_5C_{35}L_3 + 4b_5C_{45}L_4 - 8b_3C_{23}C_{12}L_1 - 8b_4C_{24}C_{12}L_1 - 8b_4C_{34}C_{13}L_1 \\
&- 8b_4C_{34}C_{23}L_2 - 8b_5C_{25}C_{12}L_1 - 8b_5C_{35}C_{13}L_1 - 8b_5C_{35}C_{23}L_2 - 8b_5C_{45}C_{14}L_1 \\
&- 8b_5C_{45}C_{24}L_2 - 8b_5C_{45}C_{34}L_3 + 16b_4C_{34}C_{23}C_{12}L_1 + 16b_5C_{45}C_{23}C_{12}L_1 \\
&+ 16b_5C_{45}C_{24}C_{12}L_1 + 16b_5C_{45}C_{34}C_{13}L_1 + 16b_5C_{45}C_{34}C_{23}L_2 - 32b_5C_{45}C_{34}C_{23}C_{12}L_1 \\
z_5 = z &- 2c_1L_1 - 2c_2L_2 - 2c_3L_3 - 2c_4L_4 - 2c_5L_5 + 4c_2C_{12}L_1 + 4c_3C_{13}L_1 \\
&+ 4c_3C_{23}L_2 + 4c_4C_{14}L_1 + 4c_4C_{24}L_2 + 4c_4C_{34}L_3 + 4c_5C_{15}L_1 + 4c_5C_{25}L_2 \\
&+ 4c_5C_{35}L_3 + 4c_5C_{45}L_4 - 8c_3C_{23}C_{12}L_1 - 8c_4C_{24}C_{12}L_1 - 8c_4C_{34}C_{13}L_1 \\
&- 8c_4C_{34}C_{23}L_2 - 8c_5C_{25}C_{12}L_1 - 8c_5C_{35}C_{13}L_1 - 8c_5C_{35}C_{23}L_2 - 8c_5C_{45}C_{14}L_1 \\
&- 8c_5C_{45}C_{24}L_2 - 8c_5C_{45}C_{34}L_3 + 16c_4C_{34}C_{23}C_{12}L_1 + 16c_5C_{45}C_{23}C_{12}L_1 \\
&+ 16c_5C_{45}C_{24}C_{12}L_1 + 16c_5C_{45}C_{34}C_{13}L_1 + 16c_5C_{45}C_{34}C_{23}L_2 - 32c_5C_{45}C_{34}C_{23}C_{12}L_1
\end{aligned}\right\} \quad 7)$$

$$\left.\begin{aligned}
D_5 = L_5 &- 2C_{15}L_1 - 2C_{25}L_2 - 2C_{35}L_3 - 2C_{45}L_4 + 4C_{25}C_{12}L_1 + 4C_{35}C_{13}L_1 \\
&+ 4C_{35}C_{23}L_2 + 4C_{45}C_{14}L_1 + 4C_{45}C_{24}L_2 + 4C_{45}C_{34}L_3 - 8C_{35}C_{23}C_{12}L_1 \\
&- 8C_{45}C_{24}C_{12}L_1 - 8C_{45}C_{34}C_{13}L_1 - 8C_{45}C_{34}C_{23}L_2 + 16C_{45}C_{34}C_{23}C_{12}L_1
\end{aligned}\right\} \quad 7a)$$

Hierbei bedeuten allgemein:

$$x_i, \quad y_i, \quad z_i$$

die Richtungskosinusse der nach i-Reflexionen weitergehenden Lichtrichtung.

$$L_i = x a_i + y b_i + z c_i$$

ist der cos vom Supplement des Winkels, den ein parallel mit der ursprünglichen Richtung direkt auf die i-te Fläche fallender Lichtstrahl mit der Normalen bilden würde.

$$D_i = x_{i-1}\, a_i + y_{i-1}\, b_i + z_{i-1}\, c_i$$

ist der cos vom Supplement des Einfallswinkels, den das Licht nach $(i-1)$ Reflexionen mit der Normalen der i-ten Fläche bildet.

$$C_{ik} = a_i a_k + b_i b_k + c_i c_k$$

ist der cos vom Supplement des Winkels zwischen den Spiegelseiten der i-ten und k-ten Fläche.

2. Kapitel.

Konstruktion von Prismen mit drei totalreflektierenden Flächen.

§ 3. Allgemeine Bemerkungen über die Bedingungsgleichungen für die Prismenwinkel und Anwendung auf das dreiflächige Rückkehrprisma.

Um eine Anordnung von drei spiegelnden Flächen von bestimmter Wirkung zu berechnen, sind die Richtungskosinusse a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a_3, b_3, c_3 der drei Flächennormalen, sowie die Winkel zwischen diesen drei Flächen, als Unbekannte in den Gleichungen 5) des § 1 anzusehen. Sie sind jedoch untereinander durch die Gleichungen:

$$a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 = 1,$$
$$a_2^2 + b_2^2 + c_2^2 = 1,$$
$$a_3^2 + b_3^2 + c_3^2 = 1,$$
$$C_{12} = a_1 a_2 + b_1 b_2 + c_1 c_2,$$
$$C_{13} = a_1 a_3 + b_1 b_3 + c_1 c_3,$$
$$C_{23} = a_2 a_3 + b_2 b_3 + c_2 c_3$$

verknüpft. Die Wirkung des Prismas äußert sich darin, daß Licht, welches parallel einer bestimmten Ebene eintritt, in ihr um einen bestimmten Winkel (meist 90°, 180°, 360°) abgelenkt wird, wodurch man Rechtwinkelprismen, Rückkehrprismen, nicht ablenkende Prismen erhält, oder daß, senkrecht zu einer bestimmten Ebene, das Bild auf den Kopf gestellt wird. Soll z. B. jeder, parallel zur xy-Ebene eintretende Lichtstreifen in dieser Ebene um einen rechten Winkel verdreht werden, so muß für

$$x = -1, \quad y = 0, \quad z = 0$$

nach dem Austritt

$$x_3 = 0, \quad y_3 = 1, \quad z_3 = 0,$$

und für:

$$x = 0, \quad y = -1, \quad z = 0$$

nach dem Austritt

$$x_3 = -1, \quad y_3 = 0, \quad z_3 = 0 \quad \text{sein.}$$

Soll außerdem das Bild gegen die xy-Ebene nicht verdreht werden, so muß für

$$x = 0, \quad y = 0, \quad z = -1$$

auch

$$x_3 = 0, \quad y_3 = 0, \quad z_3 = -1 \quad \text{sein.}$$

Soll aber das Bild quer gegen die xy-Ebene auf den Kopf gestellt werden, so muß für

$$x = 0, \quad y = 0, \quad z = -1$$

nach dem Austritt

$$x_3 = 0, \quad y_3 = 0, \quad z_3 = +1 \quad \text{sein.}$$

Sollte dagegen jede Lichtrichtung wieder in sich zurückkehren (Rückkehrprisma), so müßte für

$$x = -1, \quad y = 0, \quad z = 0,$$
$$x_3 = +1, \quad y_3 = 0, \quad z_3 = 0 \quad \text{sein.}$$

Für

$$x = 0, \quad y = -1, \quad z = 0$$

nach dem Austritt

$$x_3 = 0, \quad y_3 = +1, \quad z_3 = 0,$$

ferner für

$$x = 0, \quad y = 0, \quad z = -1$$

auch

$$x_3 = 0, \quad y_3 = 0, \quad z_3 = +1 \quad \text{sein.}$$

Jede solche Bedingung gibt, in den Gleichungen 5) des § 1 eingesetzt, drei Bestimmungsgleichungen für die unbekannten Größen. Man erhält also jedesmal 9 Gleichungen, von denen aber je drei paarweise gleich sind, während von den übrigen sechs eine weitere Anzahl wegfällt, da sie sich aus den übrigen von selbst ergeben.

Um daher die unbekannten Größen unzweideutig zu bestimmen, müssen noch weitere Annahmen geometrischer und optischer Natur gemacht werden. Die erstere besteht darin, daß eine gewisse symmetrische Anordnung der Flächen vorausgesetzt wird. Die zweite Forderung ist gewöhnlich dadurch gegeben, daß für die Achse der durch die Endflächen eintretenden bzw. austretenden zylindrischen Lichträume die Einfallswinkel an zwei oder allen drei Flächen gleich groß sind, oder daß der kleinste der drei Einfallswinkel über dem Grenzwinkel der totalen Reflexion für die verwendete Glassorte liegt.

Im folgenden werde das Koordinatensystem so gelegt, daß die positive z-Achse vertikal nach oben (Zenit), die positive x-Achse gegen vorne (Süden), die positive y-Achse nach rechts (Osten) gerichtet ist. Die erste und dritte Fläche werden symmetrisch gegen die xy-Ebene gelegen angenommen, so daß:

$$a_1 = a_3 \quad \text{(beide positiv)}$$
$$-b_1 = b_3$$
$$c_1 = c_3 \quad \text{wird.}$$

Wenn, wie anzunehmen erlaubt ist, beide Flächen ihre Spiegelseite nach oben kehren, so ist

$$c_1 = c_3 \quad \text{(positiv).}$$

Die mittlere Fläche, welche dann ihre Spiegelseite nach unten kehrt, steht auf der xz-Ebene senkrecht, dann wird:

$$b_2 = 0, \qquad c_2 \text{ negativ},$$
$$a_2 \text{ positiv oder negativ.}$$

Die Endflächen, durch welche das Licht beim Eintritt und Austritt hindurchgeht, sind kreisförmig begrenzt mit dem Radius r, sie stehen auf der xy-Ebene senkrecht, und zwar bei rechtwinkliger Ablenkung so, daß die Normale der Eintrittsfläche von Südwest nach Nordost, die der Austrittsfläche von Nordwest nach Südost gerichtet ist, also jene die Richtungskosinusse

$$-\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad +\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad 0,$$

diese die Richtungskosinusse

$$+\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad +\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad 0 \qquad \text{hat.}$$

Dagegen stehen die Endflächen bei Rückkehrprismen oder bei nicht ablenkenden Prismen auf der x-Achse senkrecht.

Für die angenommene Lage der drei Flächen und die zugehörigen Werte der Richtungskosinusse ihrer Normalen wird dann:

$$C_{12} = C_{23} = a_1 a_2 + c_1 c_2,$$
$$C_{13} = a_1^2 - b_1^2 + c_1^2 = 1 - 2b_1^2.$$

Ferner wird im ersten Tripel von Bestimmungsgleichungen:

$$x = -1, \qquad y = 0, \qquad z = 0,$$
$$L_1 = -a_1, \qquad L_2 = -a_2, \qquad L_3 = 1 - a_1,$$

für das zweite Tripel:

$$x = 0, \qquad y = -1, \qquad z = 0,$$
$$L_1 = -b_1, \qquad L_2 = 0, \qquad L_3 = +b_1,$$

für das dritte Tripel:

$$x = 0, \qquad y = 0, \qquad z = -1,$$
$$L_1 = -c_1, \qquad L_2 = -c_2, \qquad L_3 = -c_1.$$

Demnach werden in allen Fällen die rechten Seiten der 9 Bestimmungsgleichungen in § 1:

$$\left.\begin{array}{l} -1 + 8a_1^2 b_1^2 + 2U^2 \\ + 4a_1 b_1 (1 - 2b_1^2) - 2UV \\ + 8a_1 b_1^2 c_1 + 2UW \\ - 4a_1 b_1 (1 - 2b_1^2) + 2UV \\ + 1 - 2(1 - 2b_1^2)^2 + 2V^2 \\ - 4b_1 c_1 (1 - 2b_1^2) + 2VW \\ + 8a_1 b_1^2 c + 2WU \\ + 4b_1 c_1 (1 - 2b_1^2) - 2VW \\ - 1 + 8b_1^2 c_1^2 + 2W^2 \end{array}\right\} \qquad 1)$$

wo zur Abkürzung

$$\left.\begin{array}{l} U = a_2 - 2a_1 C_{12} \\ V = b_2 - 2b_1 C_{12} \\ W = c_2 - 2c_1 C_{12} \end{array}\right\} \qquad 2)$$

gesetzt und im vorliegenden Falle $b_2 = 0$ ist.

Die Größen U, V, W haben eine einfache geometrische Bedeutung (s. Fig. 2):

Legt man nämlich um den Koordinatenanfang O eine Einheitskugel, die von den positiven Achsen in X, Y, Z und von den positiven Normalen der zwei ersten Flächen in N_1 und N_2 getroffen wird, und verbindet man die Punkte N_1, N_2 mit X, Y, Z durch Großkreisbögen, so ist:

$$\cos(N_1 X) = a_1, \qquad \cos(N_1 Y) = b_1, \qquad \cos(N_1 Z) = c_1,$$
$$\cos(N_2 X) = a_2, \qquad \cos(N_2 Y) = b_2, \qquad \cos(N_2 Z) = c_2.$$

Verbindet man noch N_1 und N_2 durch einen Großkreisbogen und verlängert diesen über N_1 hinaus um sich selbst nach M, so ist:

$$\cos(N_2 N_1) = C_{12} = \cos(N_1 M).$$

Nun wird z. B.:

$$\cos(N_2 X) = \cos(N_1 N_2)\cos(N_1 X) + \sin(N_1 N_2)\sin(N_1 X)\cos(N_2 N_1 X),$$
$$\cos(MX) = \cos(N_1 N_2)\cos(N_1 X) - \sin(N_1 N_2)\sin(N_1 X)\cos(N_2 N_1 X),$$

also

$$\cos(N_2 X) + \cos(MX) = 2\cos(N_1 N_2)\cos(N_1 X)$$

oder

$$a_2 + \cos(MX) = 2C_{12} a_1,$$
$$\cos(MX) = -U.$$

Ebenso wird:

$$\cos(MY) = -V,$$
$$\cos(MZ) = -W.$$

Fig. 2. Für den Gegenpunkt M' von M sind dann U, V, W die Richtungskosinusse. U, V, W bedeuten also die Richtungskosinusse für Licht, das parallel mit der positiven Normalenrichtung der zweiten Fläche (von ihrer spiegelnden Seite weg) auf die erste fallend, von dieser reflektiert wird.

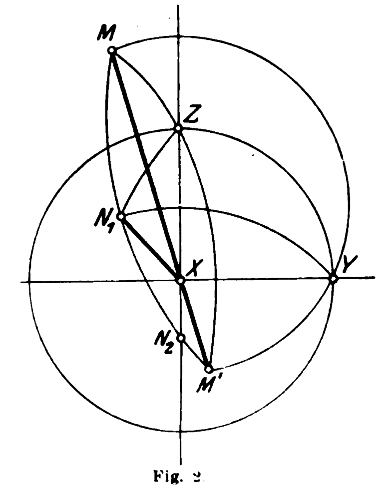


Fig. 2.

Also

$$U = \cos(M'X),$$
$$V = \cos(M'Y),$$
$$W = \cos(M'Z).$$

Für das Rückkehrprisma muß im ersten Tripel der 9 Gleichungen: $x = -1$, im zweiten $y = -1$, im dritten $z = -1$ sein. Schaltet man unter diesen Gleichungen eine von jedem Paar gleichlautender aus, so erhält man:

$$\left.\begin{aligned} U^2 &= 1 - 4a_1^2 b_1^2 \\ UV &= 2a_1 b_1 (1 - 2b_1^2) \\ UW &= -4a_1 b_1^2 c_1 \\ V^2 &= -(1 - 2b_1^2)^2 \\ VW &= 2b_1 c_1 (1 - 2b_1^2) \\ W^2 &= 1 - 4b_1^2 c_1^2 \end{aligned}\right\} \quad 3)$$

Aus der vierten Gleichung folgt:

$$V = 0 \quad \text{und} \quad 1 - 2b_1^2 = 0,$$
$$\text{d. h. } C_{13} = 0 \quad \text{und} \quad C_{12} = 0, \qquad \text{also auch}$$
$$C_{23} = 0,$$

d. h. die drei Flächen stehen aufeinander senkrecht. Sie bilden die Ecke eines Würfels. Das in Betracht kommende Prisma ist unter dem Namen **Zentralprisma** von A. Beck in *dieser Zeitschr. (1892)* näher beschrieben.

§ 4. **Rechtwinklig abbiegendes, symmetrisches Prisma mit Bildumkehr quer gegen die Abbiegungsebene.**

A. Die Ablenkung um einen rechten Winkel erfolge parallel der xy-Ebene, die Bildumkehr senkrecht dazu. Dann sind die linken Seiten der 9 Bestimmungsgleichungen von § 1 der Reihe nach:

$$0, +1, 0; \qquad -1, 0, 0; \qquad 0, 0, +1;$$

also

$$\left.\begin{aligned} U^2 &= \frac{1 - 8a_1^2 b_1^2}{2} && (1) \\ UV &= \frac{4a_1 b_1 (1 - 2b_1^2) - 1}{2} && (2) \\ UW &= 4a_1 b_1^2 c_1 && (3) \\ V^2 &= \frac{1 - 2(1 - 2b_1^2)^2}{2} && (4) \\ VW &= 2b_1 c_1 (1 - 2b_1^2) && (5) \\ W^2 &= 1 - b_1^2 c_1^2 && (6) \end{aligned}\right\} \quad 4)$$

Diese Gleichungen sind nicht voneinander unabhängig. Sie erlauben nur a_1, c_1, a_2, c_2, C_{12} in b_1 auszudrücken. Zur vollständigen Bestimmung sei verlangt, daß für

die horizontal von Südwesten nach Nordosten zielende Einfallsrichtung mit den Richtungskosinussen:

$$-\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad -\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad 0,$$

für welche

$$L_1 = -\frac{a_1 + b_1}{\sqrt{2}},$$

$$L_2 = -\frac{a_2}{\sqrt{2}}$$

ist, die Einfallswinkel an der ersten und zweiten Fläche gleich werden. Infolge der Symmetrie der Flächenanordnung und des Strahlenganges wird dann der Einfallswinkel an der dritten Fläche ebenso groß, und es genügt, wenn die Größen D_1 und D_2 des § 1 einander gleich werden. Hieraus erhält man die Bedingung:

$$U - V = a_1 - b_1 . \tag{5}$$

In den Gleichungen 4) muß das Produkt der rechten Seiten von (1) und (4) gleich dem Quadrat von (3) sein. Also

$$1 - 8a_1^2 b_1^2 - 4b_1^2 c_1^2 = 0. \tag{6}$$

Hieraus erhält man mit Hilfe von $a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 = 1$:

$$U^2 = \frac{1 - 2(1 - 2b_1^2)^2}{2} . \tag{7}$$

mit Rücksicht auf 4)(4) ist also:

$$U^2 = V^2.$$

Man nehme zunächst an, U und V seien verschieden, dann muß

$$U = -V$$

sein. Aus der Gleichung 4)(3) folgt, da b_1^2 und c_1 positiv anzunehmen sind, daß U und W verschiedenes Vorzeichen haben. Wählt man also U zunächst positiv, so wird V negativ und W negativ, $U - V$ positiv. Also wegen 5) $(a_1 - b_1)$ positiv.

Da $V = -2b_1 C_{12}$ ist und $-2b_1$ positiv, so muß, weil V negativ ist, auch C_{12} negativ sein. In 4)(5) muß die linke Seite positiv sein, da V und W beide negativ sind. Da rechts b_1 negativ ist, so muß auch $(1 - 2b_1^2)$ negativ werden.

Aus 6) und $c_1^2 = 1 - a_1^2 - b_1^2$ folgt:

$$4a_1^2 b_1^2 = (2b_1^2 - 1)^2 \tag{8}$$

und hieraus

$$a_1^2 = \frac{(2b_1^2 - 1)^2}{4b_1^2},$$

$$c_1^2 = \frac{1 - 2(2b_1^2 - 1)^2}{4b_1^2}.$$

$$a_1 = \frac{-(2b_1^2 - 1)}{2b_1} \tag{9}$$

$$c_1 = \frac{-\sqrt{1 - 2(2b_1^2 - 1)^2}}{2b_1} \tag{10}$$

$$a_1 - b_1 = \frac{1 - 4b_1^2}{2b_1} . \tag{11}$$

Setzt man dies in Gleichung 5) ein, so muß

$$\frac{1-4b_1^2}{2b_1} = 2U = \sqrt{2}\sqrt{1-2(2b_1^2-1)^2} \qquad 12)$$

sein. Quadriert man 12) und ordnet nach b_1, so kommt:

$$\underline{64b_1^6 - 48b_1^4 + 1 = 0.} \qquad 13)$$

Setzt man hier

$$4b_1^2 = 2\cos\beta + 1,$$

dann wird

$$4\cos^2\beta - 3\cos\beta = \tfrac{1}{2} = \cos 60^0.$$

also

$$\cos 3\beta = \cos 60^0,$$

somit

$$\beta = 20^0, \quad 140^0 \quad \text{oder} \quad 260^0;$$

also

$$2b_1^2 = \cos\beta + \tfrac{1}{2} = \cos 20^0 + \cos 60^0,$$

oder

$$\cos 140^0 + \cos 60^0,$$

oder

$$\cos 260^0 + \cos 60^0.$$

Die beiden letzten Werte sind unmöglich, weil bei ihnen $(2b_1^2 - 1)$ oder b_1^2 negativ werden.

Die Resultate der Rechnung sind:

$$b_1 = -\sqrt{\cos 40^0 \cos 20^0} = -0{,}8484375,$$

$$2b_1^2 - 1 = 2\sin 40^0 \sin 20^0 = +0{,}4396926,$$

$$4b_1^2 - 1 = 2\cos 20^0 = +1{,}8793852,$$

$$a_1 = -\frac{2b_1^2-1}{2b_1} = +0{,}2591190,$$

$$c_1 = -\frac{+\sqrt{1-2(2b_1^2-1)^2}}{2b_1} = +0{,}4615412.$$

$$U = \frac{\sqrt{1-2(2b_1^2-1)^2}}{\sqrt{2}} = -\frac{2b_1c_1}{\sqrt{2}} = +0{,}5537782,$$

$$V = -U = -\frac{\sqrt{1-2(2b_1^2-1)^2}}{\sqrt{2}} = +\frac{2b_1c_1}{\sqrt{2}} = -0{,}5537782,$$

$$W = -\frac{2(2b_1^2-1)}{\sqrt{2}} = -0{,}6218192,$$

$$a_2 = U\left(1+\frac{a_1}{b_1}\right) = \frac{\sqrt{1-2(2b_1^2-1)^2}}{2\sqrt{2}\,b_1^2} = -\frac{4a_1(a_1-b_1)}{\sqrt{2}} = +0{,}3846588.$$

$$C_{12} = \frac{V}{-2b_1} = \frac{U}{+2b_1} = -\frac{c_1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{1-2(2b_1^2-1)^2}}{2\sqrt{2}\,b_1} = -0{,}3263589,$$

$$c_2 = -0{,}9230623.$$

Für die Achse des eintretenden Lichtzylinders, für die

$$x = -\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad y = +\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad z = 0$$

ist, wird, wenn ε den Einfallswinkel an den drei Flächen bedeutet:

$$\cos\varepsilon = -D_1 = -L_1 = +\frac{a_1 - b_1}{\sqrt{2}} = -\frac{4b_1^2 - 1}{2\sqrt{2}\,b_1} = +0{,}783\,1607\,,$$
$$\varepsilon = 38^0\,21'\,24'',76\,.$$

Ferner zwischen der ersten und zweiten Fläche:

$$x_1 = -\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{2a_1(a_1 - b_1)}{\sqrt{2}} = -\frac{2c_1^2}{\sqrt{2}} = -0{,}301\,2561\,,$$
$$y_1 = \frac{4a_1 b_1}{\sqrt{2}} = -0{,}631\,8192\,,$$
$$z_1 = \frac{2c_1(a_1 - b_1)}{\sqrt{2}} = +0{,}722\,9218\,.$$

Der Winkel λ, den die Projektionen der Normalen auf die xy-Ebene der ersten und dritten Fläche beiderseits mit der x-Achse bilden, ist bestimmt durch:

$$\operatorname{tg}\lambda = \frac{b_1}{a_1} = \frac{2b_1^2}{2b_1^2 - 1} = -3{,}274\,3160\,,$$
$$\cos\lambda = +0{,}299\,7759\,,$$

also

$$\lambda = -72^0\,33'\,21'',08\,.$$

Die Neigungswinkel j_1 und j_2 der ersten und zweiten Fläche gegen die xy-Ebene sind bestimmt durch:

$$\cos j_1 = c_1 \qquad \text{und} \qquad -\cos j_2 = c_2\,,$$

also

$$\cos j_1 = +0{,}461\,5412\,, \qquad j_1 = 62^0\,30'\,48'',23\,,$$
$$\cos j_2 = +0{,}923\,0623\,, \qquad j_2 = 22^0\,37'\,19'',34\,.$$

Der Flächenwinkel zwischen der ersten und zweiten Fläche, dessen $\cos = -C_{12}$ ist, wird:

$$\cos(I\,II) = 0{,}326\,3589\,, \qquad \sphericalangle(I\,II) = 70^0\,57'\,7'',47\,.$$

Der Flächenwinkel zwischen der ersten und dritten Fläche, dessen $\cos = (2b_1^2 - 1)$ ist, wird:

$$\cos(I\,III) = 0{,}439\,6926\,, \qquad \sphericalangle(I\,III)\,63^0\,54'\,56'',63\,.$$

B. Bei dem soeben beschriebenen Prisma kreuzen sich der eintretende und austretende Lichtzylinder unter rechtem Winkel im Glase, weil die erste Fläche ihre Spiegelseite gegen West-Südwesten, die dritte ihre Spiegelseite gegen Ost-Südosten kehrt. Man kann jedoch auch eine andere Anordnung treffen, bei der eine solche Kreuzung nicht stattfindet: wenn die erste Fläche gegen Süd-Südosten, die dritte gegen Süd-Südwesten gewendet ist. Dann gelten dieselben Fundamentalgleichungen 4) und 5), wobei aber b_1 positiv, b_3 negativ zu setzen ist. Wie früher wird U positiv, V und W negativ. Aus 4) (5) folgt dann, daß $(1 - 2b_1^2)$ positiv wird und aus der Definition von V, daß C_{12} positiv ist. Die kubische Gleichung 13) wird aufgelöst, indem man

$$1 - 4b_1^2 = 2\cos\beta$$

setzt. Dann erhält man:

$$1 - 48b_1^4 + 64b_1^6 = 0$$

und weiter:

$$-1 + 6\cos\beta - 8\cos^3\beta = 0\,,$$

oder

$$4\cos^3\beta - 3\cos\beta = -\tfrac{1}{2} = \cos 120^0 \quad \text{oder} \quad \cos 480^0 \quad \text{oder} \quad \cos 840^0,$$

also

$$\beta = 40^0 \quad \text{oder} \quad 160^0 \quad \text{oder} \quad 280^0.$$

Nun soll aber sowohl $(1 - 2b_1^2)$ als $(1 - 4b_1^2)$ positiv sein, weil a_1 und $(a_1 - b_1)$ positiv sein müssen, daher ist nur der Wert 280^0 möglich. Es ist also

$$(1 - 4b_1^2) = 2\cos 280^0 = 2\cos 80^0 = 2\sin 10^0. \qquad 14)$$

Es wird

$$b_1 = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} - \sin 10^0}{2}} = 0{,}4039503,$$

$$\frac{1}{2b_1} = 1{,}2377760,$$

$$(1 - 4b_1^2) = 2\sin 10^0 = 0{,}3472964,$$

$$(\tfrac{1}{2} - 2b_1^2) = \sin 10^0 = 0{,}1736482,$$

$$a_1 = \frac{1 - 2b_1^2}{2b_1} = 0{,}3762445,$$

$$c_1 = 0{,}3039681,$$

$$2b_1 c_1 \cos 45^0 = 0{,}2149379,$$

$$c_1 \cos 45^0 = C_{12} = 0{,}2660450,$$

$$W = -2(1 - 2b_1^2)\cos 45^0 = -0{,}9526824,$$

$$a_2 = \frac{2c_1}{2b_1}\cos 45^0 = 0{,}6586082,$$

$$(a_1 - b_1) = \frac{1 - 4b_1^2}{2b_1} = 0{,}4298753,$$

$$(a_1 + b_1) = \frac{1}{2b_1} = 1{,}2377759,$$

$$c_2 = -\frac{a_1 - b_1}{2b_1}\, 2\cos 45^0 = -0{,}7524979,$$

$$x_1 = -2c_1 C_{12} = -0{,}2001959,$$

$$y_1 = \frac{4a_1 b_1}{\sqrt{2}} = 0{,}9526824,$$

$$z_1 = \frac{2c_1(a_1 - b_1)}{\sqrt{2}} = 0{,}2287324,$$

$$\operatorname{tg}\lambda = \frac{b_1}{a_1} = 0{,}4844542, \qquad \lambda = 25^0\,50'\,28'',28;$$

$$\sin\lambda = 0{,}4358781;$$

$$\cos j_1 = c_1 = 0{,}3762445, \qquad j_1 = 67^0\,53'\,55'',5;$$

$$\cos j_2 = c_2 = -0{,}7524979, \qquad j_2 = 138^0\,48'\,25'',99;$$

$$\cos(I\,II) = -C_{12} = -0{,}2660450, \qquad \measuredangle\, I\,II = 105^0\,25'\,44'',61;$$

$$\cos(I\,III) = -(1 - 2b_1^2) = -0{,}6736482, \qquad \measuredangle\, I\,III = 132^0\,20'\,56'',46;$$

$$\cos\varepsilon = \frac{a_1 - b_1}{\sqrt{2}} = 0{,}3039678, \qquad \measuredangle\, \varepsilon = 72^0\,18'\,14'',13.$$

§ 5. Zur graphischen Darstellung des Lichtdurchganges und der äußeren Form von Prismen.

A. Bei den bisherigen Rechnungen handelt es sich nur um die Richtungen der Lichtwege von Fläche zu Fläche und um die Richtungen der Normalen der verschiedenen reflektierenden Flächen. Für die praktische Anwendung müssen die Flächen voneinander getrennt werden, und die Gesamtheit des durch die kreisrunde Eintrittsfläche eindringenden und durch die gleichgroße Austrittsfläche austretenden Lichtes betrachtet werden, wobei auf die Brechung an diesen Endflächen keine Rücksicht genommen wird. Von jeder Fläche kommt, wie schon in § 3 bemerkt ist, nur ein ellipsenförmiger Teil von den Halbachsen $\frac{r}{\cos \varepsilon}$ und r zur Verwendung, wo r den Radius der Eintrittsöffnung und ε den Einfallswinkel der Lichtzylinderachse an dieser Fläche bedeutet. Daher sind die einzelnen Flächen mindestens so weit — unter Beibehaltung ihrer Richtungen im Raume — voneinander zu trennen, daß die Reflexionsellipsen zweier im Lichtweg aufeinanderfolgenden Flächen einander nicht schneiden, sondern höchstens in einem Punkt berühren, wobei im letzteren Falle die Schnittkante beider Flächen gemeinsame Tangente der beiden Reflektionsellipsen wird. Außerdem müssen die Reflexionsellipsen in den parallel verschobenen Ebenen so parallel mit sich verschoben werden, daß die Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte die durch die Richtungskosinusse x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2 usw. bestimmte Richtung beibehält. Es handelt sich also in erster Linie um die Konstruktion dieser Reflexionsellipsen. Dies kann leicht mittels Zeichnung nach der Schichtlinienmethode der darstellenden Geometrie geschehen. Für die erste reflektierende Fläche erhält man leicht zwei konjugierte Durchmesser der Reflexionsellipse, wenn man die Schnittpunkte derjenigen vier Mantellinien des eindringenden Lichtzylinders mit der ersten Fläche aufsucht, welche den Endpunkten des senkrechten und wagrechten Durchmessers der vertikal gestellten Eintrittsfläche entsprechen. Ist das Prisma symmetrisch, so steht die zweite Fläche auf der Symmetrieebene senkrecht. Der Lichtweg zwischen der zweiten und dritten Fläche ist symmetrisch zu dem zwischen der ersten und zweiten Fläche, daher wird auch die große Achse der Reflexionsellipse auf der zweiten Fläche senkrecht zur Symmetrieebene stehen, die kleine Achse in sie fallen, und die Einfallsebene des Lichtzylinders an der zweiten Fläche, also auch die des Lichtzylinders zwischen der zweiten und dritten Fläche, wird auf der zweiten Fläche senkrecht stehen. Damit ist bei dreiflächigen Prismen mit einer Symmetrieebene auch die Konstruktion der zweiten Reflexionsellipse leicht ermöglicht. Die Symmetrie der dritten gegen die erste Fläche und die des Austrittszylinders gegen den Eintrittszylinder erleichtert die Vollendung der Zeichnung.

Um das Volumen des Prismas möglichst gering zu halten und dadurch die Länge des Lichtweges im Glase nach Möglichkeit zu verkleinern, also auch das Gesichtsfeld so groß als möglich zu erhalten, bringt man nach Tunlichkeit zwei aufeinanderfolgenden Reflexionsellipsen zur Berührung. Zur Konstruktion der Reflexionsellipsen ist nur eine Grundrißzeichnung auf der horizontalen xy-Ebene nötig, da sich hieraus, infolge der bekannten Neigung der Flächen gegen die xy-Ebene ($\measuredangle j_1$, $\measuredangle j_2$), in Aufriß und Seitenriß leicht ergibt. Es soll im nachstehenden die Konstruktion des Prismas B von § 4 angegeben werden.

Figur 3: An die vertikale z-Achse OZ trage die beiden Neigungswinkel j_1 und j_2 der Flächen I und II an und ziehe zu den erhaltenen Flächennormalen ON_1 und ON_2 die Senkrechten durch O. Man erhält so die Linien des stärksten Falles auf den

beiden Flächen, die mit der Horizontalen durch O ebenfalls die ∢ j_1 und j_2 bilden. Zieht man zur Horizontalen durch O beiderseits Parallelen im Abstande r (r = Radius der Eintrittsfläche) und projiziert deren Schnittpunkte $\bar{h}_1$, $\bar{h}_1'$, $\bar{h}_2$, $\bar{h}_2'$ mit den Linien stärksten Falles auf die Horizontale, so erhält man auf ihr die Horizontaldistanzen $Oh_1 = Oh_1'$, $Oh_2 = Oh_2'$ für die Horizontalprojektionen, der auf beiden Flächen im Vertikalabstand r gezogenen Isohypsen (Streichungslinien).

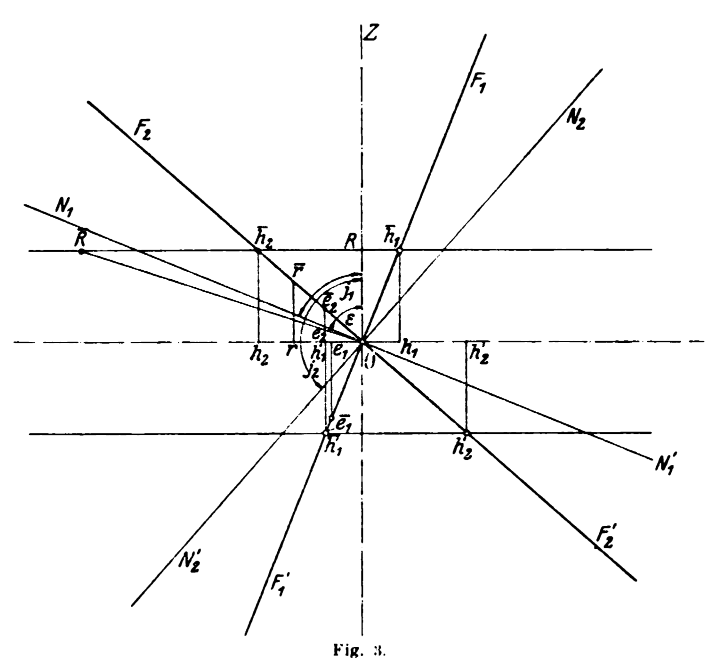


Fig. 3.

In Fig. 4 ist in einem beliebigen Punkte O an die Nordsüdlinie der ∢ λ angelegt und dadurch die Projektion der Normalen der ersten Fläche auf die xy-Ebene bestimmt. Die Normale der zweiten Fläche projiziert sich in die Nordsüdlinie selbst. Trägt man von O aus die Horizontaldistanz der Schichtlinie von Fläche I auf der Projektion der Normalen von I ab und zieht durch die zwei erhaltenen Punkte und durch O Senkrechte zur Projektion der Normalen, so erhält man drei Schichtlinien der Fläche I vom Vertikalabstand r. Ebenso kann man für die Fläche II die von West nach Ost verlaufenden drei Schichtlinien mit demselben Vertikalabstand r finden. Dabei ist zu bedenken, daß Fläche I von Südosten nach Nordwesten, Fläche II aber von Norden nach Süden ansteigt. Die Verbindungslinie der Schnittpunkte s und s' gleichnamiger Schichtlinien ist der Grundriß für die Schnittkante der beiden Flächen I und II. Deren Neigung gegen die Horizontalebene erhält man aus einem rechtwinkligen Dreieck, in dem die Strecke Os die anliegende und $s(s) = r$ die gegenüberliegende Kathete des Neigungswinkels ist.

Um für die Reflexionsellipse I zwei konjugierte Durchmesser zu erhalten, zieht man durch den beliebig gewählten Mittelpunkt A_1 der ersten Reflexionsellipse dessen Schichtlinie und parallel dazu die um den Vertikalabstand r tiefere und höhere. Nach A_1 zielt unter 45° gegen die x-Achse von SW gegen NO die Achse A_0A_1 des eintretenden Lichtzylinders. Im Abstand r links und rechts davon liegen die beiden äußersten, mit der Achse in gleicher Höhe verlaufenden Mantellinien, sie schneiden die Schichtlinie von A_1 in a_1' und a_1. In A_0A_1 fallen auch noch die Bilder der höchsten und der tiefsten Mantellinie und diese treffen die Fläche I in der oberen bzw. unteren Schichtlinie in den Punkten b_1 und b_1'. $a_1'a_1$ und $b_1'b_1$ sind nun zwei konjugierte Durchmesser der Reflexionsellipse I. Soll nun Fläche II so nahe an Fläche I gerückt werden, daß ihre Reflexionsellipsen einander berühren, so muß die gemeinsame Tangente der Grundrisse beider Ellipsen das Bild der Schnittlinien beider Ebenen sein, also die Richtung sos' der Fig. 4 haben. Man hat somit die oft sich wiederholende

Hilfsaufgabe: An eine, durch zwei konjugierte Durchmesser gegebene Ellipse eine Tangente von gegebener Richtung zu legen und den Berührungspunkt zu finden.

Diese Aufgabe möge für sich im Folgenden behandelt werden.

$A'OA$ und $C'Ob$ (Fig. 5) seien die konjugierten Durchmesser. Schlage über $A'A$ einen Kreis und ziehe in ihm den Durchmesser $B'B \perp A'A$, so kann die Ellipse als schiefe Parallelprojektion des Kreises angesehen werden. Die Richtung der Projektionsstrahlen ist Bb. Aus der Ordinate PQ des Kreises wird die schiefe Ordinate pQ der Ellipse und aus der Tangente PT des Kreises die Tangente pT der Ellipse, wenn Pp parallel Bb ist. Zieht man zu der Ellipsentangente pT durch b die Parallele bC, so ist Dreieck ObC entstanden aus OBC, aber Dreieck $ObC \sim QpT$, und dieses ist entstanden aus $\Delta\, QPT$, folglich muß Dreieck $OBC \sim QPT$ sein. Aber die ähnlichen Dreiecke OBC und OPT haben die Seiten OB und OP gleich, also

Fig. 4a.

Fig. 4.

sind sie kongruent, daher $BC = OT$. Fällt man ferner OD senkrecht BC, so wird $OQ = BD$. Man erhält somit, wenn die gesuchte Tangente parallel der Geraden G werden soll, folgende Konstruktion:

Auf dem ersten der konjugierten Halbmesser OA stelle $OB = OA$ senkrecht. Durch den Endpunkt des zweiten ziehe zu G die Parallele, sie schneide den ersten in C. Ziehe BC und fälle auf sie das Lot OD. Mache auf dem ersten Halbmesser $OT = BC$ und $OQ = BD$, ziehe durch T die Parallele zu G, sie ist die gewünschte Ellipsentangente. Die Parallele durch Q zum zweiten Halbmesser gibt auf ihr den Berührungspunkt P.

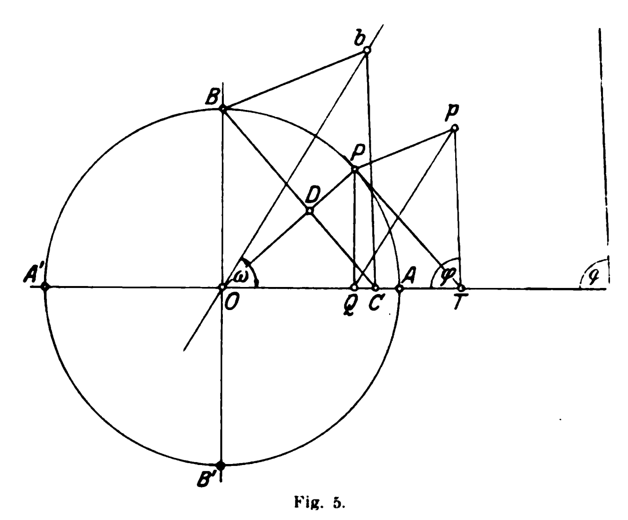


Fig. 5.

Mit Hilfe dieser Konstruktion wird das Bild der Schnittlinie beider Flächen und auf ihr der Berührungspunkt p der ersten und zweiten Reflexionsellipse gefunden.

In Fig. 4a ziehe durch O die westöstlich verlaufende Schichtlinie der Fläche II und wähle darauf beliebig den Mittelpunkt A_2 der zweiten Reflexionsellipse. Die Achsen für den Grundriß dieser Reflexionsellipse findet man aus Fig. 3, wenn man dort an OZ in O den $\sphericalangle\varepsilon$ anlegt, dessen freier Schenkel die obere Schichtlinie in R trifft. Dann ist $O\bar{R} = A_2 a_2 = A_2 a_2'$ (Fig. 4a) die große Halbachse. Macht man auf $O\bar{h}_2$, $O\bar{r} = r$ und projiziert $\bar{r}$ auf die Horizontale nach r, so ist $Or = A_2 b_2 = A_2 b_2'$ (Fig. 4a) die kleine Halbachse für den zweiten Ellipsengrundriß. Vermöge der in Fig. 5 gelösten Hilfsaufgabe konstruiere man an die durch ihre Achsen $a_2 a_2'$, $b_2 b_2'$ gegebene Ellipse eine Tangente parallel $s's$ der Fig. 4 und bestimme auf ihr den Berührungspunkt p_2, dessen Projektion auf die Achse Q_2 ist. Nun rücke man in Fig. 6 die Ellipse II der Fig. 4a parallel mit sich so, daß der Berührungspunkt p_2 nach p fällt, indem man auf der Nordsüdlinie von p die Ordinate $p_2 Q_2$ und von ihrem Endpunkt aus gegen Osten die Abszisse $Q_2 A_2$ der Fig. 4a abträgt. Dadurch erhält man den Mittelpunkt A_2 der zweiten Ellipse. Durch A_2 geht die Symmetrieebene des ganzen Prismas. Eine Zeichenprobe ergibt sich dadurch, daß die Koordinaten von A in bezug auf den Ursprung A_2 sich wie $+x_2 : -y_1$ verhalten. Die Höhe von (A_2) über der durch A_1 und A_3 gelegten Horizontalebene erhält man, wenn man vom Berührungspunkt p der beiden Ellipsen auf die durch A_1 und A_2 gehenden Schichtlinien der beiden Flächen die Lote pC_1 und pC_2 fällt und deren Länge in Fig. 3 auf der Horizontalen nach c_1 und c_2 abträgt. Die zu diesen Abszissen gehörenden Ordinaten $c_1 \bar{c}_1$ und $c_2 \bar{c}_2$ der beiden Flächen F_1 und F_2 sind einerseits die Höhe von p über A_1, andererseits die Tiefe von p unter A_2, also ihre Summe der Höhenabstand von A_2 über A_1.

In Fig. 6 ist ferner an die Ellipse I nach der Hilfsaufgabe eine Tangente gelegt, welche auf der Achse des einfallenden Strahlenbüschels senkrecht steht und diese Ellipse in p_0 berührt. In diese Tangente projiziert sich dann die vertikale Eintrittsfläche, deren Eintrittskreis seinen Mittelpunkt in A_0 hat. Zur vollständigen Begrenzung

des Glaskörpers denke man sich an die beiden von A_1 bis A_2 und von A_2 bis A_3 gehenden Lichtzylinder eine gegen vorn abfallende Berührungsebene gelegt. Man erhält ihren Schnitt mit der Symmetrieebene leicht, wenn man die ganze Schnittfigur des Prismas mit der Symmetrieebene um deren Schnittlinie mit der Horizontalebene umgelegt denkt. Dabei kommt (A_2) in die vorhin konstruierte Entfernung von A_2. Ist M der Schnittpunkt von $A_2 A_3$ mit der Symmetrieebene so ist $\angle A_2 M (A_2)$ der Neigungswinkel der erwähnten Begrenzungsebene und sein Tangens gleich $\frac{z_1}{x_1}$. Der umgelegte Schnitt von Fläche II mit der Symmetrieebene, steht auf $M(A_2)$ senkrecht. Außerdem wird das Prisma begrenzt von zwei Horizontalebenen, die zur Horizontalebene der Punkte $A_0 A_1 A_3 A_4$ parallel gehen, sowie durch Vertikalebenen, welche den eintretenden und austretenden Lichtzylinder innen berühren. Ferner durch eine, die an der Hinterseite senkrecht zur Symmetrieebene steht und durch zwei, welche seitlich die Flächen I und III nach den oberen Schichtlinien schneiden.

Für die praktische Anwendung ist das vorliegende Prisma, wegen der langgezogenen Gestalt, nicht geeignet.

B. Bei dem ersten, der in § 4 berechneten Prismen, bilden die Schichtlinien der Flächen I und III nur kleine Winkel mit der Symmetrie-

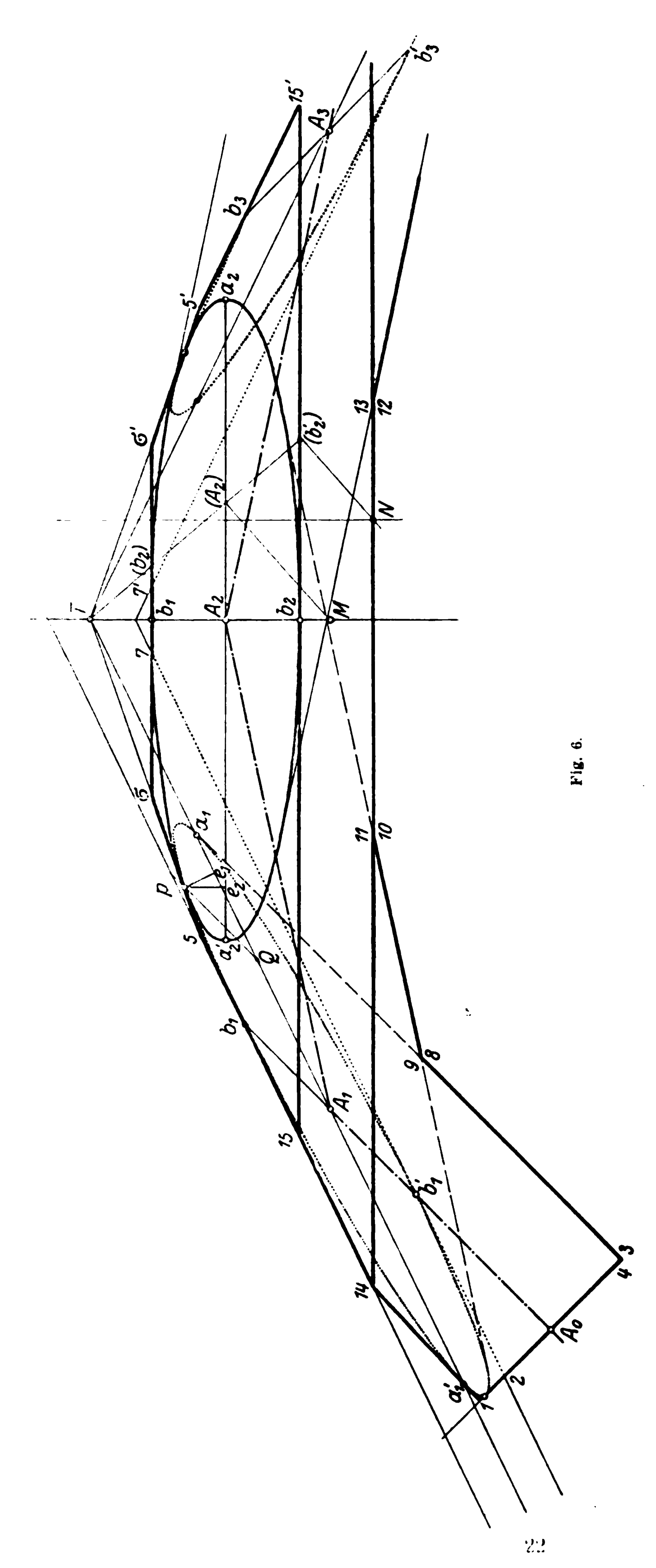


Fig. 6.

ebene und der eintretende und austretende Lichtzylinder kreuzen einander im Glase. Deshalb kann die Reflexionsellipse I nicht mit der Ellipse II zur Berührung gebracht werden, weil sonst für den austretenden Lichtzylinder zwischen der Ellipse I und der Eintrittsöffnung kein Platz vorhanden wäre. Es wird daher in erster Linie die Forderung erhoben, daß die Ebene des Austrittskreises die Ellipse I berührt.

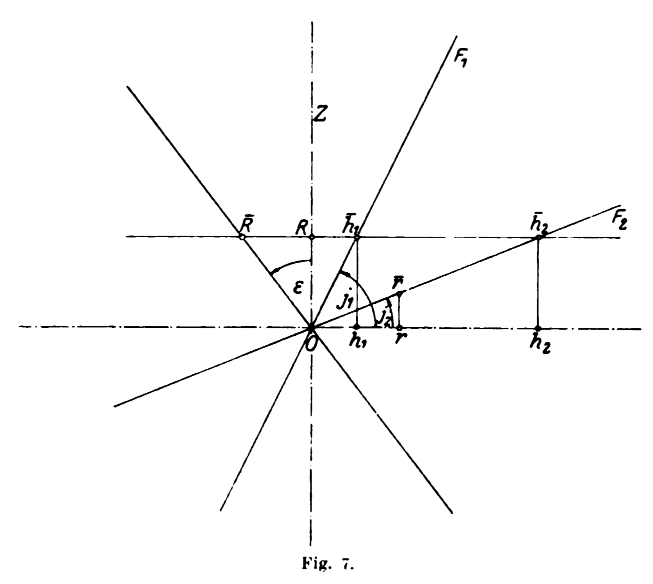


Fig. 7.

In Fig. 7 sind $\sphericalangle h_1 O \bar{h}_1 = j_1$, $\sphericalangle h_2 O \bar{h}_2 = j_2$ die Neigungswinkel der Flächen I und II. $\sphericalangle Z O \bar{R} = \varepsilon$ der gemeinsame Einfallswinkel. Die Parallele zur Horizontalen im Abstande $OR = r$ gibt auf den Flächen die Punkte $\bar{h}_1$, $\bar{h}_2$ und auf dem Schenkel von ε den Punkt $\bar{R}$. Die Projektionen von $\bar{h}_1$ und $\bar{h}_2$ auf die Horizontale geben die Horizontaldistanzen der Schichtlinien auf beiden Flächen, Oh_1 und Oh_2. Die Schichtlinien der zweiten Fläche werden hier nicht benützt. $O\bar{R}$ ist die große Halbachse der Reflexionsellipsen, von denen sich die zweite in wahrer Größe im Grundriß zeigt.

(Fortsetzung folgt.)

Kleine Mitteilungen.

Bemerkungen zu den Ausführungen des Herrn Dr. Pekar: Die Anwendbarkeit der Eötvösschen Drehwage im Felde.

Im Juni-Heft 1923 *dieser Zeitschr.* beschäftigt sich Herr Dr. Pekar eingehend mit meinem Vortrag, über „die Drehwage und ihre Anwendung zu praktisch geologischen Untersuchungsarbeiten", den ich im Dezember 1921 (!) vor dem Erzausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute gehalten habe und der dann zur Mitteilung an die bei dem Vortrage fehlenden Mitglieder dieses Ausschusses in einer beschränkten Anzahl von Exemplaren gedruckt worden ist.

Herr Pekar hat diese Ausführungen, insbesondere die Ergebnisse der Messungen einer scharfen kritischen Prüfung unterzogen und glaubt darin zahlreiche ihm willkommene Momente gefunden zu haben, die er zur Herabsetzung der Schweydar-Bambergschen Drehwage in seinem erwähnten Aufsatz ins Feld führt.

Sein ganzer Aufsatz kann mit dem einfachen Hinweis abgetan werden, daß die Messungen, die ich in meinem Vortrag behandelt habe, überhaupt nicht mit einem solchen Instrument ausgeführt worden sind, denn wir hatten zu jener Zeit überhaupt noch keins dieser Instrumente — das erste wurde uns erst im Januar 1922 geliefert —, sondern vielmehr mit einem Instrument, das nach dem Vorbild der Eötvösschen Instrumente von Herrn Fechner vom geodätischen Institut in Potsdam gebaut worden ist und an dessen Entwicklung Herr Pekar nach Seite 174 der Juni-Nummer des Jahres 1922 *dieser Zeitschr.* einen wesentlichen Anteil für sich in Anspruch nimmt.

Um indessen nicht dieses Instrument der vernichtenden Kritik, die Herr Pekar ursprünglich dem Schweydar-Bambergschen Instrumente zugedacht hat, anheimfallen zu lassen, mag mitgeteilt sein, daß die beiden im Vortrag gebrachten Beispiele als wirkliche Aufnahmen gar nicht existieren, sondern nur fingierte Beispiele darstellen, welche freihändig und nach

Gutdünken skizziert wurden, wenn auch vielleicht unter dem Einflusse wirklicher Aufnahmen, wie sie uns bis dahin nur von ungarisch-Fechnerschen Instrumenten vorlagen. Somit ist die Behauptung des Herrn Pekar, daß die Tagesbeobachtungen mit der Schweydar-Bambergschen Wage unzuverlässig sind, haltlos; dies zeigt auch unsere praktische Erfahrung.

Wenn Herr Pekar damit auch nur einem bedauerlichen Irrtum zum Opfer gefallen ist, so kommt doch darin, daß dieser Irrtum überhaupt möglich war, eine Unterschätzung der Konkurrenz zum Ausdruck, vor der man sich mindestens in Veröffentlichungen sehr hüten sollte.

Im übrigen sei darauf hingewiesen, daß die Pekarschen Ausführungen soweit sie die Auswertung unserer Ergebnisse betreffen, sich auf unsere Anfangsarbeiten beziehen, hinsichtlich deren in diesem und jenen Punkte infolge der Entwicklung vielleicht ein anderer Standpunkt heute eingenommen werden kann. Seit diesen Jahre zurückliegenden Anfangsarbeiten haben wir uns die Heranziehung und Ausbildung guter Spezialisten unter bester wissenschaftlicher Anleitung in intensivster Weise ebenso angelegen sein lassen, wie wir bei der Entwicklung eines möglichst vollkommenen Drehwagetyps mitgearbeitet haben und heute noch mitarbeiten, so daß wir jede Arbeit, die prinzipiell mit Schweremessungen zu lösen ist, auf das Gewissenhafteste auszuführen in der Lage sind, wenn auch aus geschäftlichen Rücksichten über die dabei erreichten Fortschritte nicht immer berichtet werden kann.

Dipl.-Ing Gornick,
Geschäftsführer der Exploration.

Über Fortschritte bei Feldmessungen mit einer Drehwage nach Eötvös.

Eine Erwiderung auf Dr. Pekar: Die Anwendbarkeit der Eötvösschen Drehwage im Felde.

Von Prof. Dr. W. Schweydar in Potsdam.

Im Juniheft *dieser Zeitschr.* unterwirft Herr Dr. Pekar wiederum die Methode der photographischen Registrierung bei Feldmessungen mit einer Eötvösschen Drehwage, insbesondere mit dem von der Firma Bamberg nach meinen Angaben hergestellten Typus einer abfälligen Kritik. Hierbei glaubt er, sich auf einen Vortrag des Herrn Gornick stützen zu dürfen. Welch ein peinlicher Mißgriff ihm hierbei unterlaufen ist, geht aus der voranstehenden Berichtigung des Herrn Gornick genügend hervor. Zu den Bemerkungen des Herrn Gornick möchte ich noch hinzufügen, daß in dem schwer zugänglichen Vortrag mit keinem Worte gesagt wird, daß die in Wirklichkeit von der Hand gezeichneten Schemata mit Bambergschen Instrumenten gewonnene Registrierungen sind. Die Annahme des Herrn Pekar ist somit nicht zu verstehen. Das ungewöhnliche Format, die Kreuze und die Ringe statt einfacher Punkte mußten ihn überdies im Zweifel lassen, ob es sich überhaupt um die Reproduktion von Registrierungen handelt. Es ist um so bedauerlicher, daß Herr Pekar sich die Mühe gemacht hat, das Schema auszumessen und auf Grund von weiteren Annahmen die Schwerkraftsgrößen auszurechnen. Die enormen Unstimmigkeiten, die er hierbei findet und die erklärlich sind, hätten ihm als Fachmann die Gewißheit geben müssen, daß er einem Irrtum zum Opfer gefallen ist. Ein Instrument, das solche Resultate geben würde, wäre unbrauchbar. Dies alles hindert aber Herrn Pekar nicht, seinen weittragenden Schluß zu veröffentlichen, daß Messungen am Tage mit der Bambergschen Wage „im allgemeinen" unzulässig sind und meine früheren Angaben falsch sind. Über die Leichtfertigkeit der Pekarschen Kritik muß man staunen. Ich überlasse das Urteil dem Leser.

Herr Pekar scheint auch nicht anzunehmen, daß wir auf die einfachste Weise die Tagesmessungen nachgeprüft haben, indem wir auf ein und derselben Station Tag und Nacht registrierten und so die Ergebnisse einwandfrei vergleichen konnten.

Von derartigen zahlreichen Vergleichungen greife ich einige in den folgenden Tabellen heraus, um die Zulässigkeit der Tagesbeobachtungen mit dem Bambergschen Instrument und die Haltlosigkeit der Pekarschen Behauptung zu beweisen. Diese Messungen sind in 4 verschiedenen Gebieten mit 4 verschiedenen Instrumenten ausgeführt. Die Prüfung der Zulässigkeit der Tagesbeobachtungen ist besonders unter solchen meteorologischsn Verhältnissen von Wert, die bisher den Messungen als ungünstig galten. Dies sind starke Strahlung, rasche und große Temperaturveränderungen. Die Station A/164 ist unter besonders ungünstigen Umständen beobachtet; bei starker Sonnenstrahlung war es am Tage warm, nach Sonnenuntergang trat bei klarem Himmel Abkühlung ein

bis unter 0 Grad. Große Temperaturschwankungen während der Messung bis zu 19 Grad sind bei den Messungen in den Gebieten B, C, D aufgetreten. Die Tabellen geben die Abweichung ($\varDelta$) der unmittelbaren Ablesungen auf der photographischen Platte gegen ihren Mittelwert aus je drei, die einen vollständigen Satz bilden; die Werte $\varDelta$ sind die Ablenkungen der Wagen gegen ihre Lagen, in der die Aufhängedrähte torsionslos sind und dienen unmittelbar zu der Berechnung der Gradienten $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$, $\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$ und der von den Krümmungen der Niveaufläche abhängenden Größen $\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$, $\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$. $\varDelta$ ist in Einheiten von $^1/_2$ mm angegeben. Die Temperatur außerhalb des Zeltes ist nur bis 10 Uhr abends abgelesen. In den Gebieten B, C, D wurde nur die maximale Schwankung der Außentemperatur zur Charakteristik der Temperaturverhältnisse festgestellt, da die Kenntnis dieser Temperatur zur Zeit jeder Registrierung für die Berechnung der Resultate unnötig ist. Die Temperatur im Innenraum des Instrumentes wird photographisch registriert und der Platte entnommen; ebenfalls registriert wird die Zelttemperatur. Bei der Berechnung der 4 Differentialquotienten des Schwerkraftspotentials U, sind teils 4 teils 5 Registrierungen zusammengefaßt. Die Abweichung der Resultate aus diesen Gruppen und aus Tag und Nacht ist so befriedigend, daß die Zulässigkeit der Tagesbeobachtungen ersichtlich ist. Die Krümmungsgrößen bestimmen sich im allgemeinen etwas ungenauer als die Gradienten; ein Ablesefehler auf der photographischen Platte von 0,1 mm gibt einen Fehler von 0,8 Einheiten in den Krümmungsgrößen und 0,2 bis 0,4 in den Gradienten. Ferner muß berücksichtigt werden, daß die Berechnung des Einflusses der Höhenschwankungen im Gelände (der sichtbaren Unregelmäßigkeiten) immer nur näherungsweise erfolgen kann und daß deshalb schon aus diesem Grunde bezüglich der Wirkung der subterranen Massen mit Fehlern im allgemeinen von 1 bis 2 Einheiten in den Gradienten und etwas mehr in den Krümmungsgrößen gerechnet werden muß. In besonderen Fällen ist sogar mit noch größeren Unsicherheiten in dieser Beziehung zu rechnen. Diese Genauigkeit wird bei den hier angeführten Tagesmessungen im Vergleich zu den Nachtmessungen vollauf erreicht und zwar unter sehr ungünstigen meteorologischen Verhältnissen. Man ersieht, daß es unnötig ist, die Station länger als 4 bis 5 Stunden stehen zu lassen. Das Instrument gestattet sehr rasches Arbeiten, mit einem einzigen Beobachter können bequem mindestens 2 Stationen pro Tag erledigt werden, in besonders eiligen Fällen auch mehr Stationen. Derartige beschleunigte Messungen sind praktisch durchgeführt.

Gebiet A, Station 115, 7. Aug. 1921

Zeit d. Registr.	Stellung d. Instr.	$\varDelta$ Wage I	$\varDelta$ Wage II	Außen-Temp.	Zelt-Temp.		$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
9 a. m.	1			17°	20,1	Tag				
10	2	+ 4,3	− 0,3	17	20,1	Tag	+ 8,5	+ 6,5	− 34,3	+ 6,1
11	3	− 4,0	− 2,1	18	20,2	Tag				
12	1	− 0,4	+ 2,4	18	20,2	Tag				
1 p. m.	2	+ 4,4	− 0,4	19	20,3	Tag				
2	3	− 3,9	− 1,9	20	20,9	Tag	+ 8,7	+ 6,5	− 33,7	+ 4,9
3	1	− 0,6	+ 2,2	20	21,2	Tag				
4	2	+ 4,4	− 0,2	20	21,3	Tag				
5	3	− 3,8	− 2,0	19	21,1	Tag				
6	1	− 0,5	+ 2,2	18	21,3	Tag	+ 8,7	+ 6,5	− 33,7	+ 5,5
7	2	+ 4,3	− 0,4	17	20,4	Tag				
8	3	3,9	− 1,8	17	19,5	Nacht				
9	1	− 0,6	+ 2,4	15	18,8	Nacht				
10	2	+ 4,4	− 0,6	13	17,7	Nacht	+ 9,0	+ 7,3	− 32,3	+ 5,5
11	3	− 3,8	− 1,9		16,9	Nacht				
12	1				16,3	Nacht				

Gebiet A, Station 164, 5.—6. Okt. 1921. Starke Strahlung, nachts Frost

Zeit d. Registr.	Stellung d. Instr.	Δ Wage I	Δ Wage II	Außen-Temp.	Zelt-Temp.		$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
11 a.m.	1			11,5	12,8	Tag				
12	2	+3,7	−6,5	12	13,0	Tag				
1 p.m.	3	−2,6	−1,3	13	13,1	Tag	+16,0	+21,1	−4,1	+19,1
2	1	−1,2	+7,3	13,5	13,2	Tag				
3	2	+3,7	−6,2	13,5	13,2	Tag				
4	3	−2,4	−1,2	13	13,1	Tag				
5	1	−1,2	+7,2	11,5	13,0	Tag				
6	2	+3,6	−6,0	9	12,4	Tag	+15,1	+20,2	−4,8	+17,4
7	3	−2,4	−1,2	7,5	11,3	Tag				
8	1	−1,3	+7,0	7	9,8	Nacht				
9	2	+3,6	−5,8	6,5	9,0	Nacht				
10	3	−2,4	−1,2	5,5	8,1	Nacht				
11	1	−1,3	+7,0		7,8	Nacht				
12	2	+3,7	−5,8		6,8	Nacht	+15,1	+19,7	−4,8	+16,2
1 a.m.	3	−2,4	−1,1		5,5	Nacht				
2	1	−1,2	+6,8		4,0	Nacht				
3	2				3,3	Nacht				

Gebiet B, Station 94, 25.—26. Mai 1923.
Außen-Temperaturschwankung während d. Regist. 15°

Zeit. d. Registr.	Stellung d. Instr.	Δ Wage I	Δ Wage II		$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial x^2}{\partial^2 x}\right)$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
12	1							
1 p.m.	2	+0,5	−1,6	Tag				
2	3	+0,7	+0,6	Tag	+2,8	+5,3	+8,9	−0,6
3	1	−1,1	+1,0	Tag				
4	2	+0,6	−1,7	Tag				
5	3	+0,7	+0,6	Tag				
6	1	−1,3	+1,1	Tag				
7	2	+0,6	−1,7	Tag	+2,9	+5,1	+8,2	−0,3
8	3	+0,5	+0,5	Tag				
9	1	−1,2	+1,1	Nacht				
10	2	+0,6	−1,7	Nacht				
11	3	+0,5	+0,6	Nacht	+3,1	+4,9	+8,1	−0,0
12	1	−1,1	+1,0	Nacht				
1 a.m.	2	+0,6	−1,7	Nacht				

Demgegenüber entnehme ich aus den Angaben des Herrn Pekar, daß er mit seinem Instrument für eine Station mindestens 9 Beobachtungen, d. h. also 3 Wiederholungen eines vollen Satzes, was 9 Stunden in Anspruch nimmt, benötigt. Er führt uns die Messungen auf einer einzigen Station an; diese sind während der Nacht, also in der günstigsten Tageszeit ausgeführt, wobei überdies die Temperaturschwankung außerhalb des Zeltes nur 3,6° betrug. Unter so günstigen Verhältnissen läßt sich die Leistungsfähigkeit eines Instrumentes überhaupt nicht beurteilen.

Die erneut wiederholten Einwände des Herrn Pekar gegen die photographische Methode, namentlich bezüglich der Umständlichkeit der Entwicklung der Platten und des Rücktransports der Station bei einer Fehlstation, könnten von jedem der vielen Beobachter mit Bambergschen Wagen widerlegt werden. Die photographische Platte zeigt dem Beobachter sofort nach der Ent-

Gebiet C, Station 6, 14.—15. Mai 1923.
Außen-Temperaturschwankung während d. Registr. 18,3°

Zeit d Registr.	Stellung d. Instr.	Δ Wage I	Δ Wage II		$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
1 p. m.	1							
2	2	− 1,1	+ 1,9					
3	3	− 4,1	+ 2,0		+ 4,1	− 20,9	− 11,2	+ 4,4
4	1	+ 5,2	− 4,0	Tag				
5	2	− 1,1	+ 1,9					
6	3	− 4,0	+ 1,9		+ 4,0	− 20,7	− 11,6	+ 4,7
7	1	+ 5,0	− 3,7					
8	2	− 1,1	+ 1,9					
9	3	− 3,8	+ 1,7					
10	1	+ 4,9	− 3,6					
11	2	− 1,1	+ 1,8					
12	3	− 3,7	+ 1,8	Nacht	+ 3,6	− 19,5	− 10,4	+ 4,4
1 a. m.	1	+ 4,7	− 3,6					
2	2	− 1,1	+ 1,8					

Gebiet D, Station 67, 26.—27. März 1922.
Außen-Temperaturschwankung während d. Registr. 19°

Zeit d. Registr.	Stellung d. Instr.	Δ Wage I	Δ Wage II		$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}$	$10^9 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)$	$10^9 \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y}$
12	1							
1 p. m.	2	+ 0,2	− 5,8					
2	3	+ 3,8	− 2,1		− 0,6	+ 27,8	+ 28,1	+ 12,5
3	1	− 4,0	+ 7,3	Tag				
4	2	+ 0,1	− 5,4					
5	3	+ 3,6	− 2,0					
6	1	− 3,9	+ 7,0		− 0,1	+ 26,6	+ 26,1	+ 10,8
7	2	+ 0,3	− 5,1					
8	3	+ 3,5	− 1,9					
9	1	− 3,8	+ 6,8					
10	2	+ 0,3	− 4,8					
11	3	+ 3,3	− 1,6					
12	1	− 3,8	+ 6,8	Nacht	0,0	+ 25,9	+ 25,7	+ 10,4
1 a. m.	2	+ 0,2	− 5,1					
2	3	+ 3,6	− 1,9					
3	1	− 3,8	+ 7,0					
4	2	+ 0,3	− 5,2		− 0,3	+ 27,3	+ 27,3	+ 10,4
5	3	+ 3,8	− 1,9					
6	1							

wicklung mit einem Blick, ob die Station abgebrochen werden darf oder nicht. Überdies sind die Platten Dokumente, die bei irgend einem Zweifel später zu Rate gezogen werden können. Dank dem Vorteil der stärkeren Vergrößerung des Bambergschen Instruments erfolgt die Ausmessung der Registrierungen in kaum $^1/_4$ Stunde. Zur Bekräftigung seiner Auffassung von dem Wert der visuellen Beobachtung gibt Herr **Pekar** an, daß auch „andere Fachleute" seiner Meinung sind, und daß z. B. die „Erda"-Gesellschaft auch deshalb das visuelle Instrument benutzt. Nach zuverlässiger Auskunft benutzt diese Gesellschaft überhaupt keine Drehwagen und hat sich auch mit der Ausführung von Schweremessungen nie beschäftigt. **Hieraus ersieht man, welchen Wert die Pekarschen Angaben haben,** dies gilt auch bezüglich seiner Mitteilung, daß hier nur Handlanger als Beobachter ausgebildet werden.

Ich halte die Diskussion mit Herrn **Pekar** über die photographische Methode an dieser Stelle meinerseits für abgeschlossen, da sie mir zwecklos erscheint.

Ich halte es nicht für notwendig, auf die weiteren Ausführungen des Herrn **Pekar** einzugehen, da sie zur Förderung des Problems wenig beitragen. Herr **Pekar** verbreitet sich ohne nähere Begründung andeutungsweise über Schwierigkeiten, die jedem Fachmann, der sich längere Zeit mit Drehwagen beschäftigt hat, bekannt sind. Ich weise diese Art der Kritik, insbesondere die Vorwürfe, die Herr **Pekar** im Anschluß an seine Belehrungen über allgemein bekannte Dinge (Vergrößerung u. Empfindlichkeit) zu erheben sich für berechtigt hält, entschieden zurück. Das Problem bestand für mich darin, die instrumentellen Einrichtungen und die Berechnungsmethoden zu verbessern. Ich möchte nur bemerken, daß die Auswahl der Stationspunkte in manchen Gebieten wie zum Beispiel in Norddeutschland, wo eine mächtige zerklüftete Diluvialdecke liegt, mehr Sorgfalt und Erfahrung erfordert, als in der geologisch viel einfacher gebauten ungarischen Tiefebene. Die von **Eötvös** in Ungarn benutzten und veröffentlichten Formeln zur Berechnung des Einflusses der sichtbaren Massenunterschiede reichen (abgesehen von den Fehlern, die in der Veröffentlichung enthalten sind) für Gebiete nicht aus, wo stärkere Höhenunterschiede und starker Dichtewechsel unmittelbar unter der Oberfläche auftreten. In dieser Beziehung mußten neue Methoden geschaffen werden, die ich an anderer Stelle veröffentlichen werde.

Man fragt sich verwundert, an wen die Ausführungen des Herrn **Pekar** gerichtet sind. Sollte der Schlüssel zu dem Verständnis in den letzten drei Absätzen seines Aufsatzes zu suchen sein?

Über eine Verbesserung der Lummer-Gehrcke-Platte für Interferenzspektroskopie.

Die Leistungsfähigkeit der **Lummer-Gehrcke**-Platten hängt wesentlich von ihrer Länge ab. Nun lassen sich aber gute planparallele Platten aus technischen Gründen nicht beliebig lang herstellen, infolgedessen ist man bisher an verhältnismäßig kurze Platten gebunden. (Die längsten betragen bei 1 cm Dicke ca. 23 cm.) Diesem Übelstand kann abgeholfen werden, indem man 2 oder mehrere aneinandergelegt. Zum Aneinanderlegen kommen dabei natürlich nur Platten von genau gleicher Dicke und gleichen optischen Eigenschaften in Betracht, d. h. benachbarte Streifen ein und derselben planparallel geschliffenen Scheibe. Diese Scheiben werden zweckmäßig zuerst an den Enden schräg angeschliffen und dann in Streifen auseinandergeschnitten. Die benachbarten Streifen können dann aneinandergesetzt (eventuell gesprengt) werden. Das gleiche Verfahren kann natürlich bei Quarzplatten, Bergkristallplatten usw. angewendet werden, und so können Stücke noch für die spektroskopischen Zwecke gebraucht werden, die sonst ihrer Kleinheit wegen nicht in Betracht kamen.

Dr. *Ernst Lau.*

Bücherbesprechungen.

O. D. Chwolson, Lehrbuch der Physik. Zweite verbesserte und vermehrte Auflage. Zweiter Band, zweite Abteilung. Die Lehre von der strahlenden Energie. Herausgegeben von **Gerhard Schmidt.** 894 S. Braunschweig, Friedrich Vieweg u. Sohn Akt. Ges. 1922.

Der vorliegende Band des rühmlichst bekannten Lehrbuches der Physik ist von dem Herausgeber im Anschluß an die erste Auflage unter Fortlassung vieles nur historisch Interessanten und unter Einfügung wichtiger neuer Forschungsergebnisse bearbeitet worden. Erst nach Fertigstellung des Manuskriptes konnte ein Vergleich mit der inzwischen erschienenen zweiten russischen Auflage erfolgen. Der Band umfaßt in 18 Kapiteln Wärmestrahlung, geometrische Optik, Interferenz, Polarisation usw. Auf die elektromagnetische Lichttheorie wird nur gelegentlich, auf die Quantentheorie so gut wie garnicht eingegangen. Dies befremdet bei einem modernen Lehrbuch über strahlende Energie. Der Leser wird auf Band 5 verwiesen, der eine umfangreiche Darstellung beider Lehren bringen soll.

Henning.

Dr. Franz Aigner, Unterwasserschalltechnik. Grundlagen, Ziele und Grenzen (Submarine Akustik in Theorie und Praxis) 322 S. Berlin, M. **Krayn** 1922. Brosch. 125 M.; geb. 150 M.

Der Verfasser, der auf dem Gebiet des submarinen Signalwesens während des Krieges in hervorragender Weise tätig war, führt den Leser in dem vorliegenden Werk durch eine Fülle

theoretischer und konstruktiver Überlegungen, die bis vor kurzem das Geheimnis weniger Eingeweihter waren. Mit lebhaftem Interesse vertieft sich an Hand des Buches der Physiker in die Gesetze der Schallausbreitung innerhalb eines Mediums von mehr als 3000 mal größerer „Schallhärte“ als Luft, und mit nicht geringerer Freude wird der Ingenieur die zahlreichen neuen Aufgaben zur Konstruktion der Schallsender und Schallempfänger, die für ein solches Medium geeignet sind, verfolgen. Vielseitige Anregungen theoretischer und experimenteller Art machen das Buch, das der Verfasser mit Recht als ein „leicht faßliches, möglichst vollständiges Nachschlagewerk“ bezeichnet, besonders wertvoll. Jedem, der auf dem Gebiet der submarinen Akustik arbeitet, sei es auf das wärmste empfohlen.

Der Inhalt des Buches gliedert sich in 8 Kapitel: 1. Historischer Rückblick. 2. Allgemeine Betrachtungen über das Schallfeld. Reichweite des Schalls. 3. Schallantennen. Theoretisches über den günstigsten Sender. 4. Sendeantennen. Konstruktion derselben. 5. Empfangsantennen. 6. Akustische Peilung und Vermessung. 7. Sende- und Empfangsapparatur und Apparateneinbau. 8. Praktische Anwendungen der Unterwasserschalltelegraphie.

Den Schluß bildet neben Namen- und Sachverzeichnis ein sehr umfangreiches und wertvolles Literaturverzeichnis. *Henning.*

Seriengesetze der Linienspektren, gesammelt von F. Paschen und R. Götze. 8°. 154 S. Berlin, Julius Springer, 1922. Gebunden 11 Goldmark, Auslandspreis 2,80 Dollar.

Die Dissertation von B. Dunz (Tübingen 1911) war bisher das einzige Werk, das die Serienspektra der Elemente, soweit sie bis zu jener Zeit bekannt waren, übersichtlich im Zusammenhang brachte; leider war sie schon seit langem im Buchhandel vergriffen. Aber nicht nur der Spektroskopiker bedauerte das Fehlen eines solchen zusammenfassenden Werkes, sondern jeder Physiker, der sich mit der modernen Atomphysik beschäftigt. Denn die Serienspektra haben durch die Arbeiten von Bohr u. a. eine größere und allgemeinere Bedeutung erhalten.

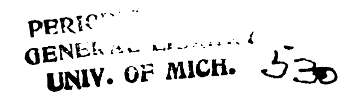
Es ist deshalb sehr zu begrüßen, daß diese Lücke jetzt durch das vorliegende Werk von F. Paschen und R. Götze ausgefüllt ist. In einer kurzen Einleitung werden erörtert: die allgemeine Serienordnung, die Differenzierung der Terme, wie man eine Serie und ihre Grenze findet, die Quantenbeziehungen der Spektralgesetze. In übersichtlichen Tabellen sind Wellenlängen, Wellenzahlen, Grenzterm und Folgeterme verzeichnet. Die Wellenlängen usw. beziehen sich meist auf Rowlandsche Einheiten; bei Wasserstoff, Helium, Quecksilber, Kalzium, Barium sind die Wellenlängen in internationalen Einheiten angegeben und die Terme umgerechnet, z. T. ist dies der Fall bei Argon, Neon, Natrium. Außer den bereits erwähnten Elementen sind behandelt: Lithium, Kalium, Rubidium, Kalzium, Kupfer, Silber, Beryllium, Strontium, Radium, Magnesium, Zink, Cadmium, Kohlenstoff, Bor, Aluminium, Skandium, Yttrium, Lanthan, Neoytterbium, Gallium, Indium, Thallium, Silizium, Sauerstoff, Schwefel, Selen, Mangan. Zum Schluß werden die verschiedenen Terme der Bogenspektra der Elemente und die experimentell festgelegten Zeemantypen der Serienlinien zusammengestellt. *L. J.*

Voigtländer & Sohn A.-G. in Braunschweig, Liste 0/1268, Photoobjektive.

Die vorzüglich ausgestattete Liste gibt einen Gesamtüberblick über die Erzeugnisse der Firma auf dem Gebiet der Photoobjektive und ihres Zubehörs. Sie ist besonders wertvoll durch die eingehenden fachmännischen Erklärungen, welche die Auswahl des für jeden Zweck am besten geeigneten Objektives erleichtern soll. Für Porträts, Landschaften, Innenaufnahmen, für die Momentaufnahmen des Liebhabers wie der Berufsphotographen, für gewerbliche Zwecke, Reproduktionstechnik, Kinematographie und Projektion stehen zahlreiche bewährte Sonderkonstruktionen zur Verfügung, auf die hier nur kurz verwiesen werden kann. *G.*

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT FÜR INSTRUMENTENKUNDE.



Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **E. v. Hammer** in Stuttgart, **K. Haußmann** in Berlin, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **H. Krüss** in Hamburg, **H. Ludendorff** in Potsdam, **O. Lummer** in Breslau, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **C. Pulfrich** in Jena, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** in Göttingen, **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **A. Westphal** in Berlin, **E. Wiechert** in Göttingen.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg.

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

11. Heft: November.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1923.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande durch den Buchhandel oder unmittelbar von der Verlagshandlung bezogen werden. Diese Stellen erteilen auch Auskunft über den jeweiligen monatlichen Bezugspreis.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei 1/4 1/2 1/1 Seite Umfang 22.50 45.— 90.— Goldmark

Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist 10 20 % Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,20 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum Berliner Dollarbriefkurs des Vortages der Zahlung. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungs datum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Rücksendung von Bildstöcken erfolgt zu Lasten der Eigentümer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24.

Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

XLIII. Jahrgang. **November 1923.** Elftes Heft.

Totalreflektierende Prismen.

Von
Prof. **H. Cranz** in Stuttgart.

(Fortsetzung von Seite 306.)

In Fig. 8 ist an die x-Achse in A_1 das Komplement des negativen Winkels λ angelegt und zum Schenkel sind beiderseits Parallelen gezogen mit der Horizontaldistanz Oh_1, der Fig. 7, als obere und untere Schichtlinie. Nach A_1 zielt unter 45^0 gegen die X-Achse von SW her die Achse des einfallenden Lichtzylinders, dessen äußere Mantellinien die Schichtlinie von A_1 in a_1 und a_1' treffen, während die oberste Mantellinie auf der obersten Schichtlinie den Punkt b_1, die unterste Mantellinie auf der unteren Schichtlinie den Punkt b_1' gibt. Durch die konjugierten Durchmesser $a_1 a_1'$, $b_1 b_1'$ ist der Grundriß der ersten Projektionsellipse gegeben. Da die Achse des austretenden Lichtzylinders unter 45^0 gegen die X-Achse nach SO geht, so ist die Vertikalfläche der Austrittsöffnung unter 45^0 gegen die X-Achse von SW nach NO gerichtet, berührt also den Eintrittszylinder und die Ellipse I im Punkt a_1. Es handelt sich darum, in dieser Fläche den Mittelpunkt des Austrittskreises so zu bestimmen, daß der Austrittszylinder die Körperkante zwischen Fläche I und der Austrittsebene gerade berührt. Die Austrittsebene schneidet die obere Schichtlinie von Fläche I in 1, die mittlere in a_1, die untere in 6. Man lege das Dreieck $a_1 1 \bar{1}$ (die quer gestrichenen Buchstaben bedeuten die Punkte im Raum, deren Bilder mit denselben, nicht überstrichenen Buchstaben bezeichnet sind; die umgelegten Punkte werden durch Klammern gekennzeichnet) in die Horizontalebene der Punkte $A_0 A_1 A_3 A_4$ um, indem man $1\,(1) = r$ senkrecht auf $a_1 1$ stellt, dann ist $(1)\,a_1\,(6)$ die umgelegte Schnittkante. Es ist nun ein Kreis vom Radius r zu zeichnen, dessen Mittelpunkt A_4 auf $1\,a_1$ liegt und der $(1)\,(6)$ in (c) berührt. Das Dreieck $a_1 A_4 (c)$ ist $\cong a_1 (1)\,1$, daher $a_1 A_4 = a_1 (1)$. Die unter 45^0 gegen die X-Achse nach NW durch A_4 gehende und die senkrecht zur X-Achse durch a_1 gehende Gerade geben den Mittelpunkt A_3 der dritten Ellipse. Das Mittellot von $A_1 A_3$ gibt die Symmetrieebene an. Auf ihr ergibt sich der Grundriß A_2 für den Mittelpunkt der zweiten Ellipse, wenn man $A_1 A_2$ so zieht, daß $MA_2 : A_1 M = x_1 : y_1$ sich verhält. Der Mittelpunkt A_0 der Eintrittsfläche ist symmetrisch zu A_4. Die Achsen des eintretenden und austretenden Lichtzylinders treffen einander auf der Symmetrielinie in K. Man zeichne die Umlegung des Schnittes, den das Prisma durch die Symmetrieebene erfährt. $(\bar{A}_2)$ liegt auf der Senkrechten zur Symmetrielinie so, daß $MA_2 : A_2 (\bar{A}_2) = x_1 : z_1$ ist. Die Schnittlinie der zweiten Fläche mit der Symmetrieebene steht in der Umklappung auf $M(\bar{A}_2)$ in $(\bar{A}_2)$ senkrecht. Macht man auf der Umklappung dieser Schnittlinie $(\bar{A}_2)(8) = (\bar{A}_2)(9) = r$

und projiziert (8)(9) auf die Symmetrielinie nach 8 und 9, so erhält man die kleine Achse des Grundrisses von Ellipse II, während ihre große Achse aus Fig. 7 entnommen wird. Eine Parallele durch (8) zu $(\bar{A}_2)$ M und eine Parallele zur Symmetrielinie im Abstand r über der Horizontalen geben Punkt (10). Die Begrenzungen des Körpers sind nun außer durch die reflektierenden Flächen und die Eintrittsflächen gegeben durch eine untere Horizontalebene 2, 4, 6, 16, 15, eine obere Horizontalebene 1, 2, 5, die schräge Berührungsebene 1, 5, 11, 12 an den zweiten und dritten Lichtzylinder, bestimmt durch die Punkte 8 und 10, eine senkrecht zur Symmetrieebene stehende Vertikalebene 13, 15, 16, 14, welche die Ellipse II in 9 berührt, und zwei seitliche Vertikalebenen, welche die Flächen I und III nach ihren oberen Isohypsen schneiden, nämlich 5, 11, 13 und 1, 12, 14. Die reflektierenden Flächen sind:

1, 6, 16, 14; 11, 12, 14, 13; 5, 3, 15, 13.

Die Eintrittsfläche ist: 2, 5, 3, 4. Die Austrittsfläche ist: 1, 2, 4, 6.

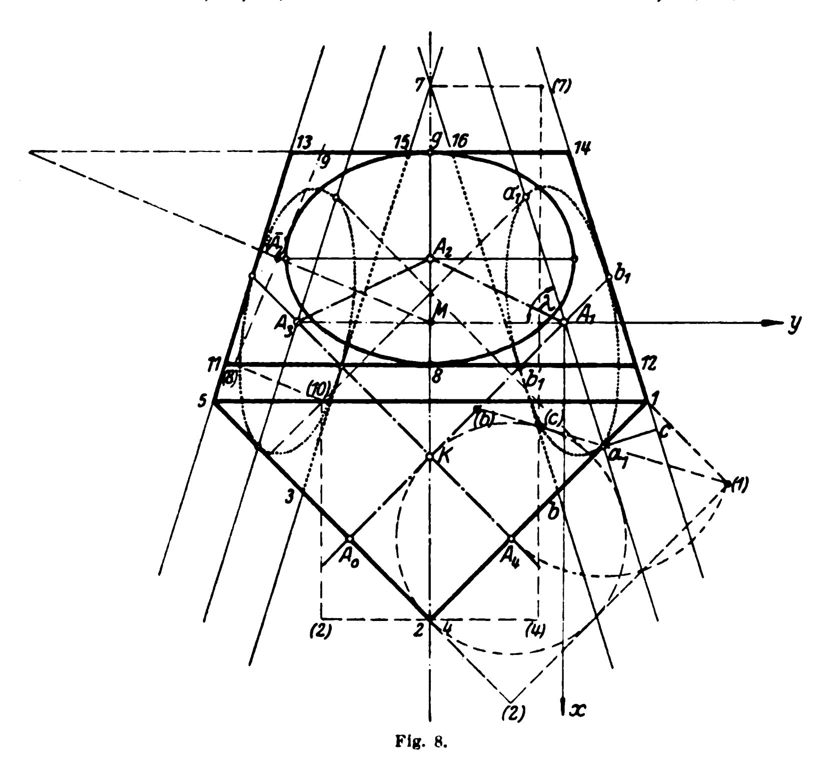


Fig. 8.

Das Prisma zeichnet sich durch seine gedrungene Form aus, erfordert aber zu seiner Ausführung eine stark brechende Glassorte, um die totale Reflexion zu gewährleisten.

C. Ergänzungen zu den Formeln für das Prisma § 4, B.

Berücksichtigt man Formel 13) von § 4, so wird c_1 in der Form § 4, B:

$$c_1 = \frac{\sqrt{2}\,(1 - 4\,b_1^2)}{8\,b_1^2} = \frac{\sqrt{2}\,(a_1 - b_1)}{4\,b_1};$$

in § 4, A wird:

$$c_1 = \frac{\sqrt{2}\,(4\,b_1^2 - 1)}{8\,b_1^2} = -\frac{\sqrt{2}\,(a_1 - b_1)}{4\,b_1}.$$

Daraus ergibt sich

$$\operatorname{tg} j_2 = \frac{c_2}{a_2}.$$

Im Falle § 4, B: $\operatorname{tg} j_2 = -2\sqrt{2}\, b_1$

und im Falle § 4, A: $\operatorname{tg} j_2 = +2\sqrt{2}\, b_1$.

Bezeichnet man den spitzen Winkel, den die Schichtlinie von Fläche I mit der X-Achse bildet, durch μ, so ist, abgesehen vom Vorzeichen:

im Falle § 4, B:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{(1 - 2 b_1^2)}{2 b_1^2} = \frac{1 - \cos 20^0}{\cos 20^0},$$

im Falle § 4, A:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{2 b_1^2 - 1}{2 b_1^2} = \frac{1 - \cos 40^0}{\cos 40^0}.$$

Der Winkel, den die Achse $A_0 A_1$ des einfallenden Lichtzylinders mit der Schichtlinie der ersten Fläche bildet, ist im Falle § 4, B: $(\mu - 45^0)$; im Falle § 4, A: $(\mu + 45^0)$, also der tg dieses Winkels im Falle § 4, B:

$$\frac{\operatorname{tg}(\mu - 1)}{\operatorname{tg}(\mu + 1)} = (1 - 4 b_1^2) = 2 \sin 10^0,$$

im Falle § 4, A:

$$\frac{\operatorname{tg} 45 + \operatorname{tg} \mu}{\operatorname{tg} 45 - \operatorname{tg} \mu} = (4 b_1^2 - 1) = 2 \cos 20^0.$$

Die Richtungskosinusse der Schnittlinie von Fläche I mit Fläche II seien ξ, η, ζ, dann erhält man aus den Gleichungen der beiden Flächen:

$$a_1 \xi + b_1 \eta + c_1 \zeta = 0$$
$$a_2 \xi \qquad + c_2 \zeta = 0$$

die Verhältnisse

$$\xi : \eta : \zeta = 2 b_1 c_2 : 2 c_1 a_2 - 2 a_1 c_2 : - 2 b_1 a_2$$

und hieraus mit Benützung der bekannten Werte c_1, a_2, c_2, im Falle § 4, B:

$$\xi : \eta : \zeta = -(1 - 4 b_1^2) : 1 : -\frac{(1 - 4 b_1^2)}{2\sqrt{2}\, b_1}.$$

Hieraus läßt sich im Grundriß und in der Projektion auf die Symmetrieebene die Schnittlinie leicht bestimmen. Für den Fall § 4, A erhält man ebenso:

$$\xi : \eta : \zeta = -(4 b_1^2 - 1) : 1 : -\frac{(4 b_1^2 - 1)}{2\sqrt{2}\, b_1}.$$

Der Winkel, den in der Grundrißzeichnung diese Schnittlinie mit der Schichtlinie von Fläche I bildet, sei φ. Er ist bestimmt durch:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{-1 + 8 b_1^2 - 8 b_1^4}{+1 - 8 b_1^4} = \frac{(1 - 4 b_1^2)}{(1 + 12 b_1^2)}.$$

Der konjugierte Halbmesser α der ersten Ellipse auf der Schichtlinie ist $\frac{r}{\sin \omega}$, wo $\omega = (\mu - 45^0)$ ist. Der zweite konjugierte Halbmesser β auf der Lichtachse ist:

$$\frac{r \operatorname{ctg} j_1}{\sin \omega}.$$

Bezeichnet man auch in der Hilfsaufgabe die konjugierten Halbmesser mit α und β,

ihren Zwischenwinkel mit ω und den Winkel zwischen der Tangente und dem Halbmesser α mit φ, so ist nach Fig. 5:

$$OC = \frac{\beta \sin(\omega + \varphi)}{\sin \varphi},$$

daher

$$OT = BC = \sqrt{\frac{\beta^2 \sin^2(\omega + \varphi)}{\sin^2 \varphi} + \alpha^2},$$

$$OQ = BD = \frac{\alpha^2}{\sqrt{\frac{\beta^2 \sin^2(\omega + \varphi)}{\sin^2 \varphi} + \alpha^2}},$$

$$\overline{QP}^2 = \alpha^2 - \frac{\alpha^4}{\frac{\beta^2 \sin^2(\omega + \varphi)}{\sin^2 \varphi} + \alpha^2},$$

$$QP = \frac{\alpha\beta \frac{\sin(\omega + \varphi)}{\sin \varphi}}{\sqrt{\frac{\beta^2 \sin^2(\omega + \varphi)}{\sin^2 \varphi} + \alpha^2}};$$

aber $Qp = QP \frac{\beta}{\alpha}$, daher

$$Qp = \frac{\beta^2 \frac{\sin(\omega + \varphi)}{\sin \varphi}}{\sqrt{\frac{\beta^2 \sin(\omega + \varphi)}{\sin^2 \varphi} + \alpha^2}}.$$

Die rechtwinkligen Koordinaten des Berührungspunktes p sind also, bezogen auf die Schichtlinie und den Ellipsenmittelpunkt:

$$\frac{\frac{\beta^2 \sin(\omega + \varphi) \cos \omega}{\sin \varphi} + \alpha^2}{\sqrt{\frac{\beta^2 \sin(\omega + \varphi)}{\sin^2 \varphi} + \alpha^2}} \quad \text{und} \quad \frac{\frac{\beta^2 \sin(\omega + \varphi) \sin \omega}{\sin \varphi}}{\sqrt{\frac{\beta^2 \sin(\omega + \varphi)}{\sin^2 \varphi} + \alpha^2}}.$$

Für die Abszisse erhält man:

$$\frac{\cos \omega (\beta^2 \operatorname{tg} \omega \operatorname{ctg} \varphi + 1) + \alpha^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \omega)}{\sqrt{\beta^2 (\operatorname{tg} \omega \operatorname{ctg} \varphi + 1)^2 + \alpha^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \omega)}},$$

für die Ordinate:

$$\frac{\cos \omega \, \beta^2 (\operatorname{tg}^2 \omega \operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{tg} \omega)}{\sqrt{\beta^2 (\operatorname{tg} \omega \operatorname{ctg} \varphi + 1)^2 + \alpha^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \omega)}}.$$

Ist $\omega = 90^0$, sind also α und β die Halbachsen der Ellipse, so werden die Koordinaten des Berührungspunktes:

Abszisse: $$\frac{\alpha^2}{\sqrt{\beta^2 \operatorname{ctg}^2 \varphi + \alpha^2}}.$$

Ordinate: $$\frac{\beta^2 \operatorname{ctg} \varphi}{\sqrt{\beta^2 \operatorname{ctg}^2 \varphi + \alpha^2}}.$$

§ 6. Bemerkungen zur Herstellung eines Modells.

Um alles unnötige Material von Anfang an weglassen zu können, braucht man sich nur ein Modell für den vom Licht, beim Durchgang durch das Glas, beanspruchten Raum samt den anzuschleifenden Reflexionsellipsen und Endflächen herzustellen. Dieses Modell wird aus einer Anzahl schräg abgeschnittener Zylinderstücke

vom gleichen Durchmesser $2r$ bestehen. An jeder Schliffläche stoßen zwei solche Zylinderstücke aneinander und zwar längs einer Halbellipse, deren Ebene auf der betreffenden Reflexionsellipse senkrecht steht und mit ihr die kleine Achse $2r$ gemeinsam hat, während die große Halbachse $\frac{r}{\sin \varepsilon}$ sein muß. An der Ein- und Austrittsöffnung ist das erste bzw. letzte Zylinderstück gerade abgeschnitten. An allen übrigen Enden ist jedes Stück durch zwei aufeinander senkrechte halbe Ellipsen begrenzt, deren gemeinsame Kante einen Durchmesser des Zylinderquerschnittes bildet und von denen die eine die große Halbachse $\frac{r}{\cos \varepsilon}$ hat und gegen den Querschnitt des Zylinders um den $\sphericalangle\, \varepsilon$ geneigt ist, während die andere die große Halbachse $\frac{r}{\sin \varepsilon}$ hat und gegen den Querschnitt um den $\sphericalangle\, (90^0 - \varepsilon)$ geneigt ist. Die beiden Dachkanten an den Enden irgendeines der Zylinderstücke sind aber einander nicht parallel, sondern um einen gewissen $\sphericalangle\, \psi$ gegeneinander verdreht. Dieser Verdrehungswinkel ψ muß, ebenso wie die Länge des Achsenstückes, vorher berechnet werden, ehe die Stücke von einer Walze aus geeignetem Material abgeschnitten werden können.

Die Vorrichtung für die Herstellung der einzelnen Zylinderstücke erinnert an die Gehrungsschneidlade für Herstellung von Bilderrahmen. An einem länglichen Tischchen mit gerader Vorderkante ist ein drehbarer Arm angebracht, der zwei Paare von Führungsrollen für das feingezahnte Blatt einer Säge trägt. Der Drehbolzen des Armes ist unter der Tischfläche. Die Führungsrollen sind auf dem Arm etwas verschiebbar, so daß die Säge in jede Vertikalebene gebracht und darin sicher geführt werden kann. Diese Vertikalebene bildet mit der Längskante des Tisches einen, mittelst geteilten Gradbogens ablesbaren Winkel. Auf dem Tisch ist ein *Y*- oder halbkreisförmiges Lager für die Walze parallel der Tischkante verschiebbar angebracht, so daß das Lager selbst auf dem Tisch und die Walze auf dem Lager sicher durch Druckschrauben festgehalten werden kann. Mittelst einer, auf die Walze aufgeschobenen, geteilten Kreisscheibe und eines am Lager angebrachten Index kann der Verdrehungswinkel der Walze gemessen und berücksichtigt werden. Ein, auf das Lager, an dort angebrachte Anschläge aufzubringendes Lineal erlaubt die Verzeichnung von Mantellinien auf der Walze unter verschiedenen Verdrehungswinkeln. Um auch kürzere Walzenstücke genau abschneiden zu können, trägt der Lagerschlitten noch einen zylindrischen Stift von etwa 10 mm Durchmesser, dessen Achse parallel mit der Längskante des Tisches geht, in seiner Längsrichtung auf dem Schlitten verschoben, um seine Aehse um einen meßbaren Winkel verdreht und durch Stellschrauben fixiert werden kann. Ist die Walze vorher mit einer genau zentralen Bohrung von 10 mm versehen, so können kürzere Walzenstücke unter starker Reibung am einen Ende des Stiftes aufgesteckt und mittelst der Säge bearbeitet werden. Man wird nun für jedes Stück auf der noch ungeteilten Walze die Querschnitte, die durch die beiden Dachkanten gehen, mit Hilfe der aufgeschobenen Kreisscheibe anzeichnen, ferner am Umfang die Mantellinien anreißen, die durch die Endpunkte jeder Dachkante gehen. Zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Stücken ist die Dicke des Sägeblattes in Betracht zu ziehen. Beim Übergang von einem Stück zum nächsten ist zu berücksichtigen, daß das letztere um 180° gedreht werden muß, wenn man den vorhergehenden Schnitt für das neue Stück auch benützen will.

Sind sämtliche Zylinderstücke abgeschnitten, so können sie zu einem Modell des ganzen Lichtraumes zusammengefügt werden. An diesem Modell werden zahlreiche

einspringende Stellen vorkommen, die vorher mit einem geeigneten Material auszufüllen sind, ehe eine Hohlform für den Guß angefertigt wird. Die reflektierenden Flächen werden mit Karton belegt, um den Materialverlust beim Schleifen auszugleichen.

Berechnung des Verdrehungswinkels zwischen zwei aufeinanderfolgenden Einfallsebenen.

Man kennt für jede Fläche die Richtung ihrer Normalen und die Richtung der an ihr ankommenden Lichtzylinderachse. Beide Richtungen liegen in der Einfallsebene dieser Fläche. Die kleine Achse der Reflexionsellipse steht auf der Einfallsebene, also auch auf den beiden erwähnten Richtungen senkrecht. Es können also ihre Richtungskosinusse berechnet werden. An der nächsten Fläche läßt sich mit Hilfe der nächsten Normale und der Lichtachsenrichtung zwischen beiden Flächen auch die Richtung der kleinen Achse der Reflexionsellipse feststellen. Sind nun u, v, w die Richtungskosinusse der kleinen Ellipsenachse an der ersten Fläche, u', v', w' die an der nächsten Fläche, so ist:

$$\cos\psi = u u' + v v' + w w'.$$

In vielen Fällen läßt sich die Richtung der Ellipsenachse durch sphärische Trigonometrie ermitteln.

Beispiel: Berechnung des Verdrehungswinkels für das Prisma § 4, B.

An der Fläche I hat man für u, v, w die Gleichungen:

$$u a_1 + v b_1 + w c_1 = 0$$

und

$$u x_1 + v y_1 + w z_1 = 0.$$

Hieraus ergibt sich:

$$u = \frac{b_1 z_1 - c_1 y_1}{N},$$

$$v = \frac{c_1 x_1 - a_1 z_1}{N},$$

$$w = \frac{a_1 y_1 - b_1 x_1}{N},$$

wo

$$N = \sqrt{(b_1 z_1 - c_1 y_1)^2 + (c_1 x_1 - a_1 z_1)^2 + (a_1 y_1 - a_1 x_1)^2}.$$

An Fläche II ist:

$$u' a_2 + w c_2 = 0,$$

$$u' x_1 + v' y_1 + w' z_1 = 0,$$

daher

$$u' = \frac{-c_2 y_1}{N'},$$

$$v' = \frac{c_2 x_1 - a_2 z_1}{N'},$$

$$w' = \frac{a_2 y_1}{N'},$$

wo

$$N' = \sqrt{(-c_2 y_1)^2 + (c_2 x_1 - a_2 z_1)^2 + (a_2 y_1)^2}.$$

Hier ist:

$$a_1 = \frac{1 - 2b_1^2}{2b_1}, \qquad c_1 = \frac{\sqrt{2}(1 - 4b_1^2)}{8b_1^2};$$

$$a_2 = \frac{(1 - 4b_1^2)}{8b_1^3}, \qquad c_2 = -\frac{(1 - 4b_1^2)}{2\sqrt{2}\,b_1^2};$$

$$x_1 = -\frac{(1 - 4b_1^2)^2}{16\sqrt{2}\,b_1^4}, \qquad y_1 = \frac{2(1 - 2b_1^2)}{\sqrt{2}}, \qquad z_1 = \frac{(1 - 4b_1^2)^2}{8b_1^3}.$$

Daher:

$$u = -\frac{(1 - 4b_1^2)}{8b_1^2 \cdot N},$$

$$v = -\frac{(1 - 4b_1^2)}{8b_1^2 \cdot N},$$

$$w = \frac{(1 + 4b_1^2 - 8b_1^4)}{2\sqrt{2}\,b_1 \cdot N}$$

und

$$N = \sqrt{3 - 8b_1^2 + 8b_1^6}.$$

Ferner ist:

$$u' = \frac{(1 - 4b_1^2)(1 - 2b_1^2)}{2b_1^2 \cdot N'},$$

$$v' = 0,$$

$$w' = \frac{(1 - 4b_1^2)(1 - 2b_1^2)}{4\sqrt{2}\,b_1^3 \cdot N'},$$

wo

$$N' = \frac{(1 - 4b_1^2)(1 - 2b_1^2)}{4\sqrt{2}\,b_1^3} \sqrt{1 + 8b_1^2}.$$

$$\cos\psi = \frac{(1 - 4b_1^2)(1 - 2b_1^2)(1 - b_1^2)}{2b_1^2 \cdot N \cdot N'} = \frac{2\sqrt{2}\,b_1(1 - b_1^2)}{\sqrt{3 - 8b_1^2 + 8b_1^6}\,\sqrt{1 + 8b_1^2}}.$$

Es wird:

$$(1 - 4b_1^2) = 2\sin 10^0 = 0{,}3472964,$$

$$(1 - 2b_1^2) = 2\sin 20^0 \cos 10^0 = 0{,}6736481,$$

$$b_1^2 = \cos 20^0 \sin 10^0 = 0{,}1631759,$$

$$b_1 = \sqrt{\cos 20^0 \sin 10^0} = 0{,}4039503,$$

$$(1 - b_1^2) = 1 - \cos 20^0 \sin 10^0 = 0{,}8368241,$$

$$N = 1{,}3150479,$$

$$\sqrt{1 + 8b_1^2} = 1{,}5183564,$$

$$\cos\psi = 0{,}4788558,$$

$$\underline{\psi = 61^0\ 23'\ 21'',48.}$$

Als Beispiel für die trigonometrische Lösung soll das Prisma § 4 A gewählt werden.

Man denke sich um A_1 (Fig. 9) eine Einheitskugel gelegt, die von der x-Achse in X, von der z-Achse in Z, vom Strahl $A_0 A_1$ in A_0, von der Normalen der ersten Fläche in N_1, von der kleinen Halbachse der ersten Ellipse in B_1, von der Parallelen zur kleinen Halbachse der zweiten Ellipse in B_2 getroffen wird.

Bekannt ist: $\sphericalangle XZN_1 = \lambda$, wo $\operatorname{tg}\lambda = \frac{2b_1^2}{(2b_1^2 - 1)}$; $\sphericalangle B_1 ZX = 45^0$, $ZN_1 = j_1$, $ZB_2 = (90^0 - j_2)$. Ferner muß $B_1 N_1 = 90^0$ sein, also kann man aus $\triangle Z_1 B N_1$ die Größe von ZB_1 finden und aus $\triangle B_1 Z B_2$ die Größe von $B_1 B_2 = \psi$.

Es ist nun

$$\operatorname{tg} B_1 Z N_1 = -(4 b_1^2 - 1),$$

daher

$$\cos(B_1 Z N_1) = \frac{1}{\sqrt{(4 b_1^2 - 1)^2 + 1}},$$

$$\cos(Z N_1) = c_1 = \frac{\sqrt{2}\,(4 b_1^2 - 1)}{8 b_1^2},$$

$$\sin(Z N_1) = \sqrt{1 - c_1^2} = \frac{\sqrt{(4 b_1^2 - 1)^2 + 1}}{2\sqrt{2}\, b_1},$$

$$\cos Z B_2 = -\frac{(4 b_1^2 - 1)}{8 b_1^3},$$

$$\sin Z B_2 = +\frac{(4 b_1^2 - 1)}{2\sqrt{2}\, b_1^2},$$

$$\cos(B_1 Z B_2) = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

Fig. 9.

Ist $Z B_1 = \alpha$, so ist im $\triangle Z B_1 N_1$

$$\cos\alpha \cos(Z N_1) + \sin\alpha \sin(Z N_1) \cos(B_1 Z N_1) = 0,$$

also

$$\operatorname{tg}\alpha = -\frac{\cos(Z N_1)}{\sin(Z N_1)\cos(B_1 Z N_1)} = -\frac{(4 b_1^2 - 1)}{2 b_1},$$

daher:

$$\cos\alpha = \frac{-2 b_1}{\sqrt{16 b_1^4 - 4 b_1^2 + 1}},$$

$$\sin\alpha = \frac{(4 b_1^2 - 1)}{\sqrt{16 b_1^4 - 4 b_1^2 + 1}},$$

$$\cos\psi = \cos\alpha \cos(Z B_2) + \sin\alpha \sin(Z B_2) \cos 45^0,$$

$$\cos\psi = \frac{(4 b_1^2 - 1)}{\sqrt{16 b_1^4 - 4 b_1^2 + 1}} = +0{,}742\,2272,$$

$$\psi = 42^0\ 4'\ 42'',64.$$

Die Verdrehungswinkel der Dachkanten in den verschiedenen Zylinderstücken sind daher erstens $\sphericalangle(Z B_1)$, wo

$$\cos(Z B_1) = \frac{-2 b_1}{\sqrt{16 b_1^4 - 4 b_1^2 + 1}} = +0{,}670\,1483,$$

also

$$\sphericalangle(Z B_1) = 47^0\ 55'\ 17'',36,$$

zweitens $\sphericalangle\psi$.

In Fig. 8 besteht der vom Licht beanspruchte Raum aus sechs paarweise gleichen Zylinderstücken. Das erste und letzte ist durch die Endflächen senkrecht abgeschnitten. Die begrenzenden Halbellipsen sind unter 45^0 gegen die Achse geneigt, daher $A_0 K = 2r$. Die Dachkante steht in Fig. 8 vertikal. Das zweite Stück hat die Länge $K A_1$. Bei K sind die unteren Halbellipsen unter 45^0 gegen die Achse geneigt. Die obere Dachkante hat die Richtung $b_1' A_1 b_1$ und ist gegen die vertikal stehende untere um den $\sphericalangle\alpha = 47^0\,55'\,17'',36$ im positiven Sinne (gegen den Uhrzeiger) verdreht, wenn man im Sinne der Lichtbewegung hineinblickt. An der oberen Dachkante ist die rechts gelegene halbe Reflexionsellipse unter $\sphericalangle\varepsilon$ gegen die Quer-

schnittsfläche des Zylinders und die links gelegene halbe Durchdringungsellipse unter $\sphericalangle \varepsilon$ gegen die Zylinderachse geneigt. Das dritte Stück geht von A_1 bis A_2. An der unteren Dachkante $b_1 A_1 b_1'$ liegt, im Sinne der Lichtbewegung gesehen, die halbe Reflexionsellipse rechts, die halbe Durchdringungsellipse links. Die obere Dachkante hat die Richtung $9 A_2 8$, so daß die obere Dachkante gegen die untere Dachkante um den $\sphericalangle \psi = 42^0 4' 42'',64$ im negativen Sinne verdreht ist. Rechts von ihr, in der Lichtbewegung gesehen, liegt die halbe Reflexionsellipse unter $\sphericalangle \varepsilon$ gegen die Querschnittsebene, links von ihr die halbe Durchdringungsellipse unter $\sphericalangle \varepsilon$ gegen die Lichtachse. Es handelt sich um Berechnung der wahren Längen von KA_1 und $A_1 \overline{A}_2$.

$$KA_1 = A_4 a_1 + r \operatorname{ctg}(KA_1 a_1),$$

$$\sphericalangle KA_1 a_1 = 45^0 + \sphericalangle KOA_1; \qquad \operatorname{tg} KOA_1 = \frac{(2 b_1^2 - 1)}{2 b_1^2},$$

also

$$\operatorname{ctg} KA_1 a_1 = \frac{1}{(4 b_1^2 - 1)},$$

$$\cos(KA_1 a_1) = \frac{1}{\sqrt{(4 b_1^2 - 1)^2 + 1}},$$

$$\sin KA_1 a_1 = \frac{(4 b_1^2 - 1)}{\sqrt{(4 b_1^2 - 1)^2 + 1}}.$$

Ziehe in Fig. 8 $a_1 C$ senkrecht zur Schichtlinie von Fläche I, dann ist:

$$a_1 C = O h_1 \quad \text{(Fig. 7)}$$

$$a_1 C = r \operatorname{ctg} j_1 = \frac{r \cdot c_1}{\sqrt{1 - c_1^2}},$$

also:

$$a_1 C = -r \frac{(4 b_1^2 - 1)}{2 b_1 \sqrt{(4 b_1^2 - 1) + 1}}.$$

Im Dreieck $a_1 1 C$ ist

$$a_1 1 = \frac{a_1 C}{\sin KA_1 a_1} = -\frac{r}{2 b_1},$$

daher ist:

$$\overline{a_1 (1)} = -\frac{r}{2 b_1} \sqrt{(4 b_1^2 + 1)} = r \frac{\sqrt{8 b_1^2 - 1}}{(4 b_1^2 - 1)},$$

ebenso groß ist $a_1 A_1$, also

$$KA_1 = + r \frac{\sqrt{8 b_1^2 - 1}}{(4 b_1^2 - 1)} + r \frac{1}{(4 b_1^2 - 1)},$$

$$KA_1 = + r \frac{[\sqrt{8 b_1^2 - 1} + 1]}{(4 b_1^2 - 1)}.$$

In Fig. 8 ist ferner $A_2 M = \frac{x_1}{y_1} \cdot r \cdot MA_1 = r \frac{x_1}{y_1} \frac{KA_1}{\sqrt{2}}$,

wo

$$MA = \frac{\sqrt{8 b_1^2 - 1} + 1}{\sqrt{2}(4 b_1^2 - 1)}.$$

Nun sind $A_2 M$, MA_1 und $A_2 \overline{A}_2$ die Komponenten von $A_1 \overline{A}_2$ nach den drei Achsen. $A_1 A_2$ hat die Richtungskosinusse x_2, y_2, z_2 (dabei sind wegen der Lichtrichtung x

und y_2 negativ, z_2 positiv); daher erhält man die Größen $A_2 M$, $A_2 \bar{A}_2$ und $A_1 \bar{A}_2$, wenn man $M A_1$ bzw. mit $\frac{-x_1}{-y_1}$, $\frac{z_1}{-y_1}$, $\frac{1}{-y_1}$ multipliziert, deren Werte sind:

$$\frac{(4 b_1^2 - 1)}{16 b_1^4}, \quad -\frac{(4 b_1^2 - 1)}{4 \sqrt{2} b_1^3}, \quad \frac{\sqrt{2}}{(4 b_1^2 - 1)}.$$

Daher ist:

$$A_2 M = \frac{(\sqrt{8 b_1^2 - 1} + 1)}{16 \sqrt{2} b_1^4},$$

$$A_2 \bar{A}_2 = -\frac{\sqrt{8 b_1^2 - 1} + 1}{8 b_1^3},$$

$$A_1 \bar{A}_2 = \frac{\sqrt{8 b_1^2 - 1} + 1}{(4 b_1^2 - 1)^2} = 0{,}8777693 \cdot r.$$

Im Prisma § 4, B ist die Länge der einzelnen Zylinderstücke dadurch bestimmt, daß je zwei aufeinanderfolgende Reflexionsellipsen durch Parallelverschiebung ihrer Flächen zur Berührung gebracht wurden. Für diesen Fall läßt sich die Länge der Zylinderstückachse zwischen zwei zusammenstoßenden Ellipsen leicht durch Zeichnung und Rechnung feststellen, nachdem einmal der Verdrehungswinkel zwischen diesen Flächen bekannt ist.

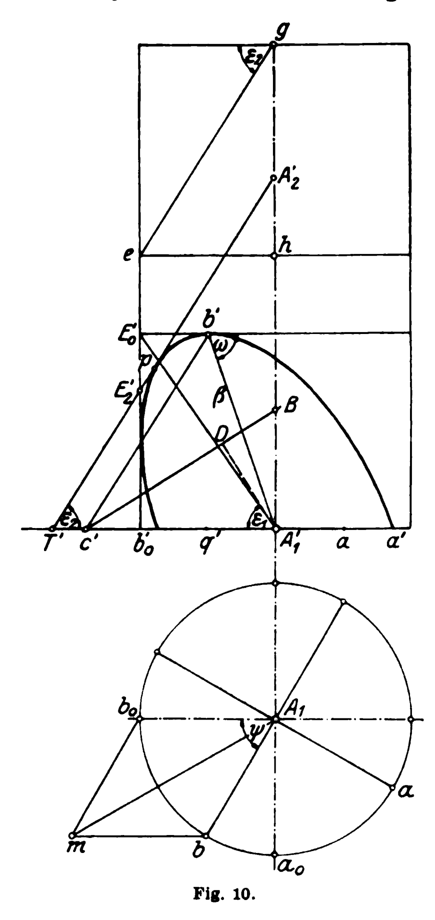


Fig. 10.

Fig. 10. Man denke sich den Zylinder vertikal gestellt, so daß sein Querschnitt durch A_1 die Grundrißebene bildet. Er möge zuerst so gedreht sein, daß die untere Reflexionsellipse im Aufriß als gerade Linie $A_1' E_0'$ erscheint. Dann ist im Grundriß $A_1 b_0$ parallel der Aufrißebene, der Grundriß der großen Halbachse, $A_1 a_0$ die kleine Halbachse. Die obere Reflexionsellipse würde im Grundriß verkürzt erscheinen und von $A_1' E_0'$ berührt werden. Die obere Dachkante würde horizontal liegen, aber mit der Senkrechten zur Aufrißebene den Verdrehungswinkel ψ bilden. Man denke sich nun den Zylinder um den $\sphericalangle \psi$ gedreht, so wird die obere Ellipse als gerade Linie erscheinen, welche mit der Querschnittsebene des Zylinders den $\sphericalangle \varepsilon_2$ bildet, also mit $e g$ parallel ist. Die untere Ellipse erscheint nun verkürzt und wird von der oberen Fläche $E_2' A_2'$ im Punkt p berührt. Von der unteren Ellipse lassen sich leicht die konjugierten Halbmesser $A_1' a'$ und $A_1' b'$ zeichnen, denn im Grundriß sind $A_1 b$ und $A_1 a$ die Projektionen der Halbachsen und gegen ihre frühere Stellung um $\sphericalangle \psi$ verdreht. Bei der Drehung bleibt das Ende der großen Halbachse in gleicher Höhe wie E_0'. Werden die konjugierten Halbmesser der Aufrißellipse A_1' mit α und β bezeichnet, der Neigungswinkel von β gegen die Horizontale mit ω, die beiden Einfallswinkel mit ε_1 und ε_2 und wird der Radius des Zylinders gleich 1 gesetzt, so ist:

$$\alpha = \sin\psi,$$
$$\operatorname{tg}\omega = \frac{\operatorname{tg}\varepsilon_1}{\cos\psi}; \qquad \beta = \frac{\operatorname{tg}\varepsilon_1}{\sin\omega} = \frac{\cos\psi}{\cos\omega}.$$

Die Konstruktion der Tangente erfolgt nach der Hilfsaufgabe in § 5, A u. C, nur ist hier φ durch ε_2 zu ersetzen. Es wird daher:

$$A_1{}'T' = \frac{r}{\operatorname{tg}\varepsilon_2}\sqrt{\operatorname{tg}^2\varepsilon_1 + 2\operatorname{tg}\varepsilon_1\operatorname{tg}\varepsilon_2\cos\psi + \operatorname{tg}^2\varepsilon_2},$$

also:

$$A_1{}'A_2{}' = r\sqrt{\operatorname{tg}^2\varepsilon_1 + 2\operatorname{tg}\varepsilon_1\operatorname{tg}\varepsilon_2\cos\psi + \operatorname{tg}^2\varepsilon_2}.$$

Es ist also $A_1{}'A_2{}'$ die dritte Seite eines Dreiecks mit den Seiten $b_0{}'E_0{}'$, hg und dem Zwischenwinkel ψ. Ist, wie beim Prisma von § 4, B: $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$, so wird:

$$A_1{}'A_2{}' = 2r\cos\frac{\psi}{2}\operatorname{tg}\varepsilon.$$

Würde man aus r als Seite und aus ψ den Rhombus $b_0 A_1 b m$ zeichnen, so wäre die Diagonale $A_1 m = 2r\cos\frac{\psi}{2}$. Für den Prismentyp von § 4, B ergab sich:

$$\sphericalangle\psi = 61^0\,23'\,21'',48$$

und

$$\sphericalangle\varepsilon = 72^0\,18'\,14'',13,$$

daher:

$$A_1{}'A_2{}' = r\cdot 2\cos 30^0\,41'\,40'',74\cdot\operatorname{tg}72^0\,18'\,14'',13.$$

3. Kapitel.

Prismen mit vier totalreflektierenden Flächen.

§ 7. Rechtwinklig abbiegende Prismen ohne Bildumkehr.

Als erstes Beispiel für Prismen mit vier Reflexionsflächen soll ein symmetrisches Prisma gewählt werden. Die xz-Ebene soll Symmetrieebene sein. Es soll daher:

$$a_1 = a_4, \qquad c_1 = c_4, \qquad b_1 = -b_4,$$

ebenso

$$a_2 = a_3, \qquad c_2 = c_3, \qquad b_2 = -b_3$$

sein.

Als Forderung für den Lichtdurchgang werde verlangt, daß das Bild nicht umgekehrt wird und daß jede parallel der xy-Ebene einfallende Lichtrichtung, um einen rechten Winkel verdreht wird. Es muß also:

für:	sein:
$x = -1$	$x_4 = 0$
$y = 0$	$y_4 = 1$
$z = 0$	$z_4 = 0$
$x = 0$	$x_4 = -1$
$y = -1$	$y_4 = 0$
$z = 0$	$z_4 = 0$
$x = 0$	$x_4 = 0$
$y = 0$	$y_4 = 0$
$z = -1$	$z_4 = -1$.

Eine weitere Forderung soll sein, daß für die Eintrittsrichtung

$$x = -\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad y = +\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad z = 0,$$

welcher die Austrittsrichtung:

$$x_4 = +\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad y_4 = +\frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad z_4 = 0$$

entspricht, die Einfallswinkel an den Flächen I, II, also wegen der Symmetrie auch an III und IV, einander gleich werden. Aus dieser Forderung folgt:

$$\begin{aligned} C_{13} &= C_{24} = C_{12} - 2\,b_1\,b_2, \\ C_{23} &= 1 - 2\,b_2^2, \\ C_{14} &= 1 - 2\,b_1^2. \end{aligned}$$

Ferner erhält man aus den zusammengehörenden Werten von x, y, z und x_4, y_4, z_4 neun Gleichungen gemäß denen von § 2. Läßt man die von den übrigen abhängenden Gleichungen weg, so erhält man die vier Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} \tfrac{1}{8} &= \{a_1 b_1 + a_2 b_2 - 2\,a_1 b_2 C_{12}\}^2 \\ -\tfrac{1}{8} &= \{a_1 b_1 + a_1 b_2 - 2\,a_1 b_2 C_{12}\}\{-\tfrac{1}{2} + b_1^2 + b_2^2 - 2\,b_1 b_2 C_{12}\} \\ \tfrac{1}{8} &= \{-\tfrac{1}{2} + b_1^2 + b_2^2 - 2\,b_1 b_2\,C_{12}\}^2 \\ 0 &= \{a_1 b_1 + a_2 b_2 - 2\,a_1 b_2 C_{12}\}\{b_1 c_1 + b_2 c_2 - 2\,b_2 c_1 C_{12}\} \end{aligned}\right\} \quad 1)$$

Hinzu kommt noch:

$$\cos\varepsilon = \frac{a_1 - b_1}{\sqrt{2}}, \text{ wegen der Reflexion an Fläche I}$$

und

$$\cos\varepsilon = \frac{a_2 - b_2}{\sqrt{2}} - 2\,C_{12}\,\frac{a_1 - b_1}{\sqrt{2}}, \text{ wegen der Reflexion an Fläche II} \quad 2)$$

Aus Gl. 1, 2) folgt, daß die beiden Ausdrücke verschiedenes Vorzeichen haben müssen und daß der Ausdruck

$$b_1 c_1 + b_2 c_2 - 2\,c_1 b_2 C_{12} = 0$$

ist.

A. Wählt man nun für den Ausdruck

$$a_1 b_1 + a_2 b_2 - 2\,a_1 b_2 C_{12}$$

das positive Vorzeichen, so erhält man die Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} a_1 b_1 + a_2 b_2 - 2\,a_1 b_2 C_{12} &= \frac{1}{2\sqrt{2}} \\ b_1^2 + b_2^2 - 2\,b_1 b_2 C_{12} &= \frac{\sqrt{2} - 1}{2\sqrt{2}} \\ a_1 b_1 + c_2 b_2 - 2\,c_1 b_2 C_{12} &= 0. \end{aligned}\right\} \quad 3)$$

Multipliziert man in 3) die drei Gleichungen der Reihe nach mit a_1, b_1, c_1 und beachtet, daß:

$$a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 = 1 \quad \text{und} \quad a_1 a_2 + b_1 b_2 + c_1 c_2 = C_{12}$$

ist, so erhält man nach Addition:

$$\left.\begin{aligned} b_1 - b_2 C_{12} &= \frac{a_1 + \sqrt{2}\,b_1 - b_1}{2\sqrt{2}} \\ 2\,b_1 - 2\,b_2 C_{12} &= \frac{a_1 - b_1}{\sqrt{2}} + b_1 \\ b_1 - 2\,b_2 C_{12} &= \frac{a_1 - b_1}{\sqrt{2}} = \cos\varepsilon \end{aligned}\right\} \quad 4)$$

Gl. 4, 3) in Gleichung 3) eingesetzt, gibt:

$$\left.\begin{aligned} a_2 b_2 + a_1 \cos\varepsilon &= \frac{1}{2\sqrt{2}} \\ b_2^2 + b_1 \cos\varepsilon &= \frac{\sqrt{2}-1}{2\sqrt{2}} \\ c_2 b_2 + c_1 \cos\varepsilon &= 0. \end{aligned}\right\} \qquad 5)$$

Die erste und zweite Gleichung von 3) geben:

$$\frac{a_1 b_1}{\sqrt{2}} + b_2 \frac{a_2 - 2 a_1 C_{12}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{4}$$

und

$$\frac{b_1^2}{\sqrt{2}} + b_2 \frac{b_2 - 2 b_1 C_{12}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}-1}{4}.$$

Subtrahiert man diese Gleichungen und berücksichtigt Gl. 4, 3), so wird:

$$b_1 \cos\varepsilon + b_2 \cos\varepsilon = \frac{\sqrt{2}-1}{2\sqrt{2}};$$

diese Gleichung in Verbindung mit Gl. 5, 2) gibt:

$$\underline{b_2 = \cos\varepsilon.} \qquad 6)$$

Setzt man 6) in Gl. 5, 3) ein, so kommt:

$$c_2 = -c_1.$$

Nun folgt aus (5, 2):

$$b_1 = \frac{\frac{\sqrt{2}-1}{2\sqrt{2}} - \cos^2\varepsilon}{\cos\varepsilon}. \qquad 7)$$

Ferner ist:

$$a_1 = \sqrt{2}\cos\varepsilon + b_1.$$

Gleichung 5, 1) wird:

$$a_2 \cos\varepsilon + a_1 \cos\varepsilon = \frac{1}{2\sqrt{2}},$$

daher:

$$a_2 = \frac{1}{2\sqrt{2}\cos\varepsilon} - a_1,$$

$$c_1 = +\sqrt{1 - a_1^2 - b_1^2},$$

$$c_2 = -\sqrt{1 - a_1^2 - b_1^2}.$$

$$\frac{\sqrt{2}-1}{2\sqrt{2}} = \sin^2 22\tfrac{1}{2}^0 = \cos^2 67\tfrac{1}{2}^0.$$

Man wähle z. B.: $\varepsilon = 48^0.$

$$C_{12} = \frac{b_1 - \cos\varepsilon}{2 b_2}.$$

Nach den vorhergehenden Formeln wird:

$b_1 = -0{,}4502694,$	$a_2 = +0{,}0323530,$
$a_1 = +0{,}4960242,$	$b_2 = -0{,}6691306,$
$c_1 = -c_2 = 0{,}7424403,$	$C_{12} = -0{,}8364585.$

B. Wählt man für die linke Seite von 1, 1) das negative Vorzeichen, so werden die Gleichungen 3):

$$\left.\begin{aligned} a_1 b_1 + a_2 b_2 - 2\, a_1 b_2 C_{12} &= -\frac{1}{2\sqrt{2}} \\ b_1^2 + b_2^2 - 2\, b_1 b_2 C_{12} &= \frac{\sqrt{2}+1}{2\sqrt{2}} \\ c_1 b_1 + c_2 b_2 - 2\, c_1 b_2 C_{12} &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad 8)$$

Die Gleichungen 2) bleiben. Ferner wird:

$$b_1 - 2\, b_2 C_{12} = -\cos\varepsilon \qquad 9)$$

und

$$\left.\begin{aligned} a_2 b_2 - a_1 \cos\varepsilon &= -\frac{1}{2\sqrt{2}} \\ b_2^2 - b_1 \cos\varepsilon &= \frac{\sqrt{2}+1}{2\sqrt{2}} \\ c_2 b_2 - c_1 \cos\varepsilon &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad 10)$$

Daraus folgt:

$$\underline{b_2 = -\cos\varepsilon} \qquad 11)$$

und

$$c_2 = -c_1 .$$

Hieraus:

$$b_1 = -\frac{\dfrac{\sqrt{2}+1}{2\sqrt{2}} - \cos^2\varepsilon}{\cos\varepsilon} \qquad 12)$$

$$a_1 = \sqrt{2}\cos\varepsilon + b_1, \qquad a_2 = \pm\sqrt{1-\cos^2\varepsilon - c_2^2}$$

$$c_1 = \sqrt{1-a_1^2-b_1^2} = -c_2, \quad \text{oder:} \quad a_2 = -\frac{a_1\cos\varepsilon - \dfrac{1}{2\sqrt{2}}}{\cos\varepsilon}.$$

a_2 ist also negativ, wenn $a_1 \cos\varepsilon > \frac{1}{2\sqrt{2}}$ ist.

$$C_{12} = -\frac{b_1 + \cos\varepsilon}{2\cos\varepsilon},$$

$$\frac{\sqrt{2}+1}{2\sqrt{2}} = \cos^2 22\tfrac{1}{2}{}^0,$$

$$\begin{aligned} b_1 &= -0{,}6064849, & a_2 &= -0{,}4467184, \\ a_1 &= +0{,}3398088, & b_2 &= -0{,}0691306, \\ -c_2 = c_1 &= +0{,}6955102, & C_{12} &= -0{,}0467934. \end{aligned}$$

Es lassen sich noch eine Reihe von Formen solcher Prismen dadurch erzielen, daß man erstens für ε andere Werte annimmt (z. B. eine sehr einfache Form, wenn $\varepsilon = 45^0$ ist), zweitens auf die Gleichheit der Einfallswinkel an Fläche I und II verzichtet und dafür einfache Bedingungen für die Form des Prismas aufstellt. Z. B. die, daß die Neigungswinkel der ersten und zweiten Fläche gegen die xy-Ebene entgegengesetzt gleich sind, oder daß je zwei aufeinanderfolgende Flächen gleiche Kantenwinkel bilden, d. h. daß

$$C_{12} = C_{23} = (1 - 2\, b_2^2)$$

ist.

§ 8. Nicht ablenkende, vollständig bildumkehrende Prismen mit vier Flächen. (Porroidprismen.)

Die vier Flächen sind so angeordnet, daß $a_4 = -a_1$, $a_3 = -a_2$, $b_4 = -b_1$, ($b_3 = +b_2$, $c_4 = -c_1$, $c_3 = -c_2$ ist.

Das Prisma hat also keine Symmetrieebene. Wohl aber sind die erste und vierte Fläche einerseits, die zweite und dritte Fläche andererseits entgegengesetzt gleich geneigt gegen die yz-Ebene, gegen die xy-Ebene und gegen die xz-Ebene. Die positive x-Achse gehe nach oben, die y-Achse nach vorn, die z-Achse nach rechts. Das eindringende Lichtbüschel gehe von oben nach unten, so daß Ein- und Austrittsfläche parallel der yz-Ebene ist. Es wird dann:

$$C_{14} = (2\,b_1^2 - 1), \qquad C_{23} = (2\,b_2^2 - 1),$$
$$C_{13} = C_{24} = 2\,b_1 b_2 - C_{12}\,.$$

Licht, welches nach $x = -1$, $y = 0$, $z = 0$ zielt, geht nach diesem Punkte weiter. Licht, das nach $x = 0$, $y = -2$, $z = 0$ zielt, geht nach $x = 0$, $y = +1$, $z = 0$ zurück; Licht, das nach $x = 0$, $y = 0$, $z = -1$ zielt, geht nach $x = 0$, $y = 0$, $z = +1$ zurück. Die praktisch verschiedenen Fundamentalgleichungen werden dann:

$$\left.\begin{aligned} a_1 b_1 + a_2 b_2 - 2\,a_1 b_2 C_{12} &= 0 \\ b_1^2 + b_2^2 - 2\,b_1 b_2 C_{12} &= \tfrac{1}{2} \\ b_1 c_1 + b_2 c_2 - 2\,c_1 b_2 C_{12} &= \tfrac{1}{2} \end{aligned}\right\} \qquad 13)$$

Sind die Einfallswinkel der Lichtraumachse an der ersten (vierten) und der zweiten (dritten) Fläche bzw. ε_1 und ε_2, so wird:

$$\left.\begin{aligned} a_1 &= \cos\varepsilon_1 \\ a_2 - 2\,a_1 C_{12} &= \cos\varepsilon_2 \end{aligned}\right\} \qquad 14)$$

Multipliziert man die Gleichungen 1) bzw. mit a_1, b_1, c_1, so erhält man nach Addition:

$$b_1 - 2\,b_2 C_{12} = c_1\,. \qquad 15)$$

Durch Einsetzen von 14) in 13, 1) erhält man:

$$b_1 \cos\varepsilon_1 + b_2 \cos\varepsilon_2 = 0 \qquad 16)$$

Setzt man 16) in 13) ein, so erhält man:

$$\left.\begin{aligned} a_2 b_2 + a_1 c_1 &= 0 \\ b_2^2 + b_1 c_1 &= \tfrac{1}{2} \\ b_2 c_2 + c_1^2 &= \tfrac{1}{2} \end{aligned}\right\} \qquad 17)$$

Wenn b_1 und b_2 nach 16) ausgedrückt und in 17, 2) eingesetzt wird, so ergibt sich:

$$c_1 = \frac{\cos^2\varepsilon_2 - 2\,b_1^2 \cos^2\varepsilon_1}{2\,b_1 \cos^2\varepsilon_2}\,, \qquad 18)$$

Da nun $a_1^2 + b_1^2 + c_1^2 = 1$ und $a_1 = \cos\varepsilon$ ist, so erhält man eine quadratische Gleichung für b_1^2. Diese gibt nach einiger Rechnung:

$$\left.\begin{aligned} \frac{2\,b_1^2}{\cos^2\varepsilon_2} = {} & \frac{\cos^2\varepsilon_1 + \cos^2\varepsilon_2 - \cos^2\varepsilon_1 \cos^2\varepsilon_2}{\cos^4\varepsilon_1 + \cos^4\varepsilon_2} \\ & \pm \frac{\cos\varepsilon_1 \cos\varepsilon_2 \sqrt{2\,(1 - \cos^2\varepsilon_1 - \cos^2\varepsilon_2) + \cos^2\varepsilon_1 \cos^2\varepsilon_2}}{\cos^4\varepsilon_1 + \cos^4\varepsilon_2}\,. \end{aligned}\right\} \qquad 19)$$

Die Formel 19) ist bequem in folgender Weise zu rechnen. Man setze:

$$A = \cos^2\varepsilon_1 + \cos^2\varepsilon_2 - \cos^2\varepsilon_1 \cos^2\varepsilon_2,$$
$$B = \cos^4\varepsilon_1 + \cos^4\varepsilon_2,$$

dann ist:

$$\frac{2\,b_1^2}{\cos^2\varepsilon_1} = \frac{A \pm \sqrt{A^2 - B}}{B}\,, \qquad 20)$$

und

$$\frac{\cos^2 \varepsilon_1}{2\, b_1^2} = A \mp \sqrt{A^2 - B}. \qquad 21)$$

Setzt man die Werte von a_1, b_1, c_1 und b_2 in der ersten und dritten Gleichung von 17) ein, so erhält man a_2 und c_2; ferner C_{12} aus 15). Die quadratische Gleichung für b_1^2 läßt sich auch schreiben:

$$\frac{\cos^2 \varepsilon_2}{2\, b_1^2} = \cos^2 \varepsilon_1 \cos^2 \varepsilon_2 \left[1 + \operatorname{tg}^2 \varepsilon_1 + \operatorname{tg}^2 \varepsilon_2 \mp \sqrt{2 \operatorname{tg}^2 \varepsilon_1 \operatorname{tg}^2 \varepsilon_2 - 1}\right]. \qquad 22)$$

Nennt man λ den Winkel, welchen die durch die x-Achse und die Normale der ersten Fläche gelegte Ebene mit der xy-Ebene bildet, positiv gerechnet von der $+y$-Achse zur $+z$-Achse hin, so ist:

$$b_1 = \sin \varepsilon_1 \cos \lambda_1,$$
$$c_1 = \sin \varepsilon_1 \sin \lambda_1,$$

also

$$\frac{c_1}{b_1} = \operatorname{tg} \lambda_1.$$

Dividiert man die zweite Gleichung von 17) mit b_1^2, berücksichtigt Gleichung 16) und bedenkt, daß

$$\frac{1}{b_1^2} = \frac{1}{\sin^2 \varepsilon_1 \cos^2 \lambda_1} = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \lambda_1}{\sin^2 \varepsilon_1}$$

ist, so erhält man für $\operatorname{tg} \lambda_1$ den Wert:

$$\operatorname{tg} \lambda_1 = \sin^2 \varepsilon_1 \pm \sqrt{\sin^2 \varepsilon_1 (1 + \sin^2 \varepsilon_2) - \cos^2 \varepsilon_2}. \qquad 23)$$

Eine andere Lösung für λ ergibt sich, wenn man in der zweiten Gleichung von 17) unter Berücksichtigung von 16) b_1 durch $\sin \varepsilon_1 \cos \lambda$ und c_1 durch $\sin \varepsilon_1 \sin \lambda$ ersetzt und statt $2 \cos^2 \lambda_1$ den Wert $(1 + \cos 2\lambda_1)$, statt $2 \sin \lambda_1 \cos \lambda_1$ den Wert $\sin 2\lambda_1$ einsetzt, dann erhält man die Gleichung:

$$\cos 2\lambda_1 \cos^2 \varepsilon_1 + \sin 2\lambda_1 \cos^2 \varepsilon_2 = \frac{\cos^2 \varepsilon_2 - \sin^2 \varepsilon_1 \cos^2 \varepsilon_1}{\sin^2 \varepsilon_1}.$$

Dividiert man durch $\sqrt{\cos^4 \varepsilon_1 + \cos^4 \varepsilon_2}$ und bestimmt den Hilfswinkel φ aus einer der Gleichungen:

$$\cos \varphi = \frac{\cos^2 \varepsilon_2}{\sqrt{\cos^4 \varepsilon_1 + \cos^4 \varepsilon_2}}, \quad \sin \varphi = \frac{\cos^2 \varepsilon_1}{\sqrt{\cos^4 \varepsilon_1 + \cos^4 \varepsilon_2}}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\cos^2 \varepsilon_1}{\cos^2 \varepsilon_2},$$

dann wird

$$\sin(\varphi + 2\lambda_1) = \frac{(\cos^2 \varepsilon_2 - \sin^2 \varepsilon_1 \cos^2 \varepsilon_1)}{\sin^2 \varepsilon_1 \sqrt{\cos^4 \varepsilon_1 + \cos^4 \varepsilon_2}},$$

oder

$$\sin(\varphi + 2\lambda_1) = \frac{(\cos^2 \varepsilon_2 - \sin^2 \varepsilon_1 \cos^2 \varepsilon_1) \sin \varphi}{\sin^2 \varepsilon_1 \cos^2 \varepsilon_1} = \left(\frac{\cos \varphi}{\cos^2 \varepsilon_1} - \sin \varphi\right). \qquad 24)$$

Die Gleichung gibt für $\sin(\varphi + 2\lambda_1)$ zwei Werte, also zwei Werte für λ_1.

Die Richtungskosinusse der Lichtzylinderachse nach der ersten Reflexion werden:

$$x_1 = -1 + 2 \cos^2 \varepsilon_1,$$
$$y_1 = 2\, b_1 \cos \varepsilon_1,$$
$$z_1 = 2\, c_1 \cos \varepsilon_1,$$

nach der zweiten Reflexion:

$$x_2 = -1 + 2 \cos^2 \varepsilon_1 + 2\, a_2 \cos \varepsilon_2,$$
$$y_2 = 2\, b_1 \cos \varepsilon_1 + 2\, b_2 \cos \varepsilon_2,$$
$$z_2 = 2\, c_1 \cos \varepsilon_1 + 2\, c_2 \cos \varepsilon_2.$$

y_2 wird wegen 16) gleich Null, d. h. zwischen Fläche II und III verläuft der Lichtzylinder parallel der xz-Ebene. Die Mittelpunkte der vier Reflexionsellipsen bilden also, projiziert auf die yz-Ebene, ein gleichschenkliges Trapez. In ihm ist $A_1 A_4 > A_2 A_3$, wenn $\frac{c_2}{b_2} < \frac{c_1}{b_1}$ ist, aber $A_1 A_4 < A_2 A_3$, wenn $\frac{c_2}{b_2} > \frac{c_1}{b_1}$ ist. Im ersten Fall erhöhte, im zweiten Fall verminderte Plastik gegenüber den Porroprismen. Aus diesem Grunde mögen die soeben definierten Prismen Porroidprismen genannt werden.

Verminderte Plastik findet statt, wenn $\frac{c_2}{b_2} - \frac{c_1}{b_1} < 0$. Setzt man die Werte von c_1, c_2, b_2 aus den beiden letzten Gleichungen von 17) und 16) hier ein, so erhält man nach einiger Rechnung die Bedingung:

$$\cos^2\varepsilon_1 + \cos^2\varepsilon_2 - \frac{\cos^2\varepsilon_2}{2\,b_1^{\,2}} > 0,$$

oder wegen des Wertes von $\frac{\cos^2\varepsilon_2}{2\,b_1^{\,2}}$ aus 22)

$$\cos^2\varepsilon_1 \cos^2\varepsilon_2 \mp \sqrt{\cos^4\varepsilon_1 \cos^4\varepsilon_2 + 2\cos^2\varepsilon_1 \cos^2\varepsilon_2\,(1 - \cos^2\varepsilon_1 - \cos^2\varepsilon_2)}.$$

Nun müssen aber zur Ermöglichung totaler Reflexion, bei gewöhnlichen Glassorten, ε_1 und $\varepsilon_2 \geqq 45^0$ sein, daher

$$\cos^2\varepsilon_1 + \cos^2\varepsilon^2 < 1$$

sein, folglich besteht die Größe unter dem Wurzelzeichen aus lauter positiven Größen und der absolute Wert der Wurzel ist größer als $\cos^2\varepsilon_1 \cos^2\varepsilon_2$. Zur Erfüllung der obigen Bedingung verminderter Plastik muß also im Ausdruck $\frac{\cos^2\varepsilon_2}{2\,b_1^{\,2}}$ das Wurzelzeichen negativ gewählt werden, also gilt für diesen Fall in Gleichung 22) das negative Vorzeichen der Wurzel.

Zu den Porroidprismen gehören auch die Porroprismen als Spezialfall. Wählt man nämlich $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 45^0$, so wird:

Porroprismen: $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 45^0$	
1. Art:	2. Art:
$B = \frac{1}{2}$	$A = \frac{3}{4}$
$b_1 = \frac{1}{2}$	$b_1 = \sqrt{\frac{1}{2}}$
$b_2 = -\frac{1}{2}$	$b_2 = -\sqrt{\frac{1}{2}}$
$c_1 = \frac{1}{2}$	$c_1 = 0$
$\lambda_1 = 45^0$	$\lambda_1 = 0$
$a_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}$	$a_2 = 0$
$c_2 = -\frac{1}{2}$	$c_2 = -\frac{1}{\sqrt{2}}$
$C_{23} = -\frac{1}{2}$	$C_{23} = 0$
$C_{14} = -\frac{1}{2}$	$C_{14} = 0$
$a_1 = \frac{1}{2}\sqrt{2}$	$a_1 = \frac{1}{2}\sqrt{2}$
$\lambda_2 = 45^0$	$\lambda_2 = 0$

Die ersten Werte geben das Porroprisma 1. Art, die zweiten das Porroprisma 2. Art.

Die Porroidprismen mit vergrößerter Plastik eignen sich besonders zur Herstellung aus einem einzigen Glasstück ohne Verkittung. Es sind zu diesem Zweck die Richtungskosinusse x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2 der Lichtzylinderachse, sowie die Verdrehungswinkel ψ_1 und ψ_2 zwischen den Einfallsebenen an den Flächen I und II einerseits, den Flächen II und III andererseits, sowie die mittleren Längen der einzelnen Zylinderstücke nach den Formeln des § 6 zu berechnen, um ein Modell des zum Lichtdurchgang benötigten Raumes zu erhalten. Auf die Durchrechnung eines Beispiels möge hier verzichtet werden.

(Schluß folgt.)

Bücherbesprechungen.

G. Förster, Untersuchung einer automatischen Kreisteilmaschine für zentesimale Teilung der Firma Otto Fennel Söhne in Cassel. *Veröff. Preuß. Geod. Inst*, *N. F. Nr. 91.* 27 S. 8°. Berlin, Stankiewicz 1923.

Seiner 1921 durchgeführten Untersuchung der automatischen Fennel-Kreisteilmaschine (alte Teilung) mit Fehlerkompensation (*Veröff. Preuß. Geod. Inst., N. F. Nr. 85;* Ref. in *dieser Zeitschr. 42. S. 377. 1922*) läßt der Verf. die ähnliche Untersuchung einer weitern, für neue Teilung eingerichteten Maschine dieser Art und derselben Firma folgen. Die Fehlerkompensation bei dieser Maschine wird bekanntlich dadurch erreicht, daß die fehlerhaften Einstellungen des Zahnkranzes durch die tangentielle Hohlschraube festgestellt, die Fehlerkurve dann auf einer mit dem Zahnkranz umlaufenden Messingscheibe ausgeschnitten wird und ein Hebelsystem zwischen Kurvenstrich und Hohlschraube eine kleine Zusatzdrehung der Schraube vermittelt, die den Fehler aufhebt, um den die Scheibe ohne diese Zusatzdrehung den Zahnkranz unrichtig einstellen würde[1]). Diese Hebelübersetzung ist an der neuen Maschine verbessert worden und auch sonst sind selbstverständlich alle bei der Untersuchung der ersten Maschine gemachten Erfahrungen hier verwertet worden; so ließ sich u. a. die Zeit für die Drehung des Zahnkranzes um 2^s auf 11^s herabbringen, womit die für die ganze Untersuchung erforderliche Zeit stark abgekürzt wurde. Der Zahnkranz hatte 750, die benutzte Teilung 664 mm Durchmesser; Vergrößerung der Ablesmikroskope 45, an der Schraubentrommel $1^p = 2''$ [2]). Die Tangentialschraube greift mit 23 Umgängen in den Zahnkranz ein und die Gewindehöhe war 20'.

Das Beobachtungsverfahren ist im wesentlichen dasselbe wie das in der vorigen Veröffentlichung Nr. 85 angegebene. Die Ergebnisse der Genauigkeitsuntersuchungen zeigen eine ebenso hohe, ja staunenswerte Leistung dieser zweiten Maschine, wie folgenden Hauptzahlen entnommen werden kann:

mittlerer reiner Beobachtungsfehler $\pm 0,6''$;

mittleres Schlottern der Umdrehungsachse der Teilmaschine $< \pm 0,3''$ (im Längenmaß $< 0,4^{\mu}$);

Veränderlichkeit der Beobachtungseinrichtung für 1° Temperaturzunahme gleich $-1,4''$ mit geringen Abweichungen von dieser linearen Beziehung;

mittlere Unsicherheit, mit der die Hohlschraube den Zahnkranz einstellt, $\pm 0,5''$, wenn vor Messung oder Teilung ein Leerlauf der Maschine erfolgt und die Tangentenschraube nicht abgehoben und neu eingelegt wird. Dieser letzte Fehler kann sich allerdings bei Unterlassung der angedeuteten Vorsichtsmaßregeln bis aufs 5fache steigern.

Hammer.

A. König, Die Fernrohre und Entfernungsmesser. Heft 5 der „Naturwissenschaften Monographien und Lehrbücher“ herausgeg. v. d. Schriftleitung der „Naturwissenschaften“. Berlin, Julius Springer. 1923. VIII, 207 S. mit 254 Abb. 7,50 Goldmark; gebunden 9,50 Goldmark. Ausland: 1,80 Dollar, gebunden 2 Dollar,

Das Fernrohr und die ihm verwandten Geräte haben namentlich durch die Anforderungen von Heer und Flotte eine so vielseitige Ausbildung erhalten, daß man heute nicht mehr, wie noch gegen den Ausgang des vorigen Jahrhunderts, dieses Gebiet der Instrumentenkunde auf wenigen Seiten abtun kann. Vielmehr versuchte man schon seit längerer Zeit die Käufer durch Sonderdarstellungen mit den Eigenschaften dieser Hilfsmittel vertraut zu machen. Früher dachte man

---

[1]) Bemerkung der Schriftleitung. Die hier und in dem Referat *S. 377. 1922* erwähnte Einrichtung zur Kompensation der Kreisteilungsfehler ist übrigens seit 1882 in verschiedenen Ausführungen bei der *Société Genevoise* im Gebrauch.

[2]) Ich gebrauche hier und im folgenden wieder die Zeiten ' und " für die Zentesimalminute und die Zentesimalsekunde, die entschieden bequemer zu schreiben und auch im Druck deutlicher sind als ^{c} und ^{cc}; wir sollten uns m. A. nach auf jene viel allgemeiner eingeführten Bezeichnungen einigen.

vornehmlich an die Artillerie- und Seeoffiziere unserer Wehrmacht, heute kommen andere Kreise als Leser in Betracht; man wird an Berufs- und Liebhaberastronomen, an Physiker und Lehrer der Mittelschulen sowie an einen Bruchteil der großen Zahl derer denken, die eines der neueren Prismen- oder Gewehrzielfernrohre benutzen. Solche Schriften kann man auf verschiedene Weisen anlegen. Man wird es schwerlich jemand verübeln können, wenn er, sich für eine möglichst leichtverständliche Abfassung entscheidend, an Einzelformen haftet und Schwierigkeiten möglichst aus dem Wege geht; anderseits wäre es denkbar, die rein geschichtliche Darstellweise zu wählen, in eingehender Behandlung den Stufen der Entwicklung zu folgen und sich auf diese Art zu bemühen, die Teilnahme der Leser zu fesseln.

Der Verfasser der vorliegenden Schrift ist anders vorgegangen: auf dem sichern Untergrund allgemein gültiger Überlegungen wird ein Gebäude aufgerichtet, dessen Hauptflügel A, die Fernrohre, und C, die Entfernungsmesser, durch den verbindenden Teil B, die Mikrometer, in Zusammenhang gebracht werden. Der größte Nachdruck wurde auf eine sichere Begründung der Lehre von den einzelnen Geräten gelegt — schwierigere Abschnitte sind in kleinerem Satz gedruckt —, während der geschichtliche Ablauf eine geringere Beachtung erfährt: ohne daß bestimmte Grundsätze für Aufzählung und Weglassung erkennbar würden, erhält der Leser die wichtigeren Namen jedenfalls.

Wendet man sich nun zu dem Einzelnen, zunächst zu der allgemeinen Einleitung, so folgt aus den Abbildungsgesetzen, der Strahlenbegrenzung und der Erörterung des Auges nach Bau und Gebrauch eine eingehende Darstellung des Sehens durch Fernrohre, die durch II, 10., das beidäugige Sehen, noch ergänzt wird. Die Erkenntnisse der neueren Zeit, die Wertung der Augendrehung und die sichere Begründung beider Möglichkeiten der beidäugigen Tiefenwahrnehmung auf die Strahlenbegrenzung, finden sich hier mitgeteilt. Die Teilnahme des Verfassers an der vor nahezu 20 Jahren gedruckten Sonderschrift der Abbeschen Schule (*s. diese Zeitschr.* **24.** *S. 158. 1904*) zeigt sich deutlich bei der Behandlung der Abbildungsfehler; es will etwas sagen, wenn auf knapp 2 Seiten (*S. 23—25*) die Seidelschen Näherungsformeln für die 5 Abbildungsfehler abgeleitet werden und dem noch mit Rücksicht auf ihre Bedeutung für die Spiegelfernrohre eine Ergänzung für nicht-sphärische Flächen angehängt wird. Hierher gehören von dem Späteren noch die Rechenformeln für zweilinsige Fernrohrobjektive (*S. 51*), die Bildfehler des Erdfernrohrs (*S. 59*), die Bildfehler der Objektiv-Doppelspiegel (*S. 76—79*), wobei zweckmäßige Näherungsformeln entwickelt werden, die umständliche trigonometrische Durchrechnungen häufig ersetzen mögen. Und schließlich kann man hier auch auf den 14. Abschnitt: Die Bildlage bei Spiegelgruppen und ihre Abhängigkeit von Drehungen der Gruppe (*S. 108—111*) hinweisen. Erst die Anforderungen der Herstellung und Berichtigung von Fernrohren hat zur Entwicklung dieser Sätze geführt, und es ist sehr anzuerkennen, daß sie hiermit in den Besitz der wissenschaftlichen Optik übergehen.

Die der Einleitung folgenden Abschnitte sind in ansprechender Ehrenbezeigung den drei größten Optikern deutscher Zunge zugeteilt. Ihre Reihe eröffnet J. Kepler, dessen Bild vor dem „Bau des Fernrohrs" steht. Dabei beschränkt sich der Verfasser hier auf das allein der Beobachtung dienende Rohr, das nur einen einzigen Raum, den Dingraum, dem Auge freilich unter veränderten Bedingungen vorführt. Daß die vielen durch die Anforderungen der Wehrmacht veranlaßten oder angeregten Bauarten hier vollständig zu finden sind, braucht man kaum besonders zu betonen; nicht weniger angenehm wird es den wissenschaftlichen Leser berühren, daß er hier eine sehr gründliche Behandlung der Himmelsfernrohre (Reflektoren und Refraktoren) findet, bei der auch die verschiedenen Möglichkeiten der Rohrlagerung (deutsche und englische Aufstellung) durch Wort und Bild erläutert worden sind. Es sei in diesem Zusammenhange auf die Taylorsche Tafel (*S. 103*) der Formen der Beugungsscheibchen in der Achse bei den verschiedenen Objektivfehlern und auf die photographischen Sternbilder nahe an der Achse in der Brennebene von Aufnahmespiegeln und -linsen (*S. 77*) hingewiesen. Der 13. Abschnitt: „Die Prüfung der Fernrohre" wird für Physiker und Astronomen von besonderem Werte sein.

Zum nächsten Abschnitt hinüber leitet der Anhang III: „Die Richtfernrohre". Hier muß neben der Abbildung des Dingraums noch eine bestimmte Richtung in ihm gekennzeichnet werden. Das geschieht im allgemeinen durch eine Zielmarke, deren Bild meistens in die Achsenrichtung

G. F[illegible]

(a[illegible]

[illegible] das Ziel selbst doppelt abgebildet, wobei das eine [illegible] Kehrbild des andern ist; alsdann können nur für [illegible] Sinne ein [illegible] der nach dem Ziel) die Bilder zusammenfallen. — Gewehr- [illegible] in ihren verschiedenen Formen aufgeführt und Prüfverfahren [illegible] und Seelenachse mitgeteilt.

[illegible] Abschnitt über die Mikrometer eröffnet das Bild J. Fraunhofers. In [illegible] Erweiterung der vorigen Aufgabe handelt es sich hier um eine Messung kleiner [illegible] hauptsächlich Teilungen in der Brennebene des Objektivs in Frage kommen. Es [illegible] aber auch um Bilderpaarmikrometer handeln, deren Entwicklung bereits im 18. Jahrhundert begonnen hat.

Der Verfasser gelangt auf diese Weise zwanglos zu dem letzten, den Entfernungsmessern gewidmeten Teile, dem des unvergeßlichen Ernst Abbe Bild vorangesetzt ist. Sie werden in bekannter Weise danach eingeteilt, ob die Standlinie, auf deren Winkel es ankommt, im Entfernungsmesser oder im Ziel liegt, also in Stand- und in Zielwinkelentfernungsmesser. Das Anwendungsgebiet wird zwar zum größeren Teile durch die Forderungen des Krieges bestimmt, aber auch den geodätischen Entfernungsmessern wird ein Abschnitt (mit einer erstaunlichen Menge von Erfindernamen) gewidmet. Unter den Geräten zur Verwendung vor dem Feinde spielen die Einstandentfernungsmesser die wichtigste Rolle, bei denen die verschiedenen wichtigen Formen für ein- und beidäugige Beobachtung erörtert werden mußten. Die Verwendung der Kehrbilder auf der einen und die verschiedenen Möglichkeiten der Raumbildentfernungsmessung auf der andern Seite findet der Leser in knapper aber sorgfältig durchdachter Darstellung. Der besonderen Art der Hochstandentfernungsmessung, bei der nur der Tiefenwinkel gemessen wird, und die deshalb auf Schiffsziele beschränkt ist, sind durch die Beobachtung vom Flugzeug aus neue Möglichkeiten erschlossen worden. Auf den besondere Aufmerksamkeit erfordernden Abschnitt V: „Die Justiereinrichtungen der Einstandentfernungsmesser“ sei besonders hingewiesen. Die Genauigkeit des Zielens und der Winkelmessung einschließlich der sich darauf stützenden Entfernungsmessung ist eingehend erörtert, sowohl welche Fehlerquellen zu beachten sind, als auch was die praktischen Versuche ergeben.

Zum Schluß sei noch auf einige Teile des Buches hingewiesen, die sich durch eigenartige Behandlung auszeichnen: Die einfache Ableitung der Abbildungsgesetze (ohne Eingehen auf die dazu verwandten brechenden und spiegelnden Kugelflächen) A I 1; Die Grenzen der Leistung des Fernrohrs A I 6; Die Behandlung des holländischen Fernrohrs A II 2; Die Ableitung der verschiedenen Formen der bildumkehrenden Prismen A II 4; Die Abbildungsverhältnisse bei den Fernrohren mit veränderlicher Vergrößerung A II 6; Die Anpassung der Doppelfernrohre an den Augenabstand A II 11; Der Einfluß der Bildfehler bei den Mikrometern B 2 u. 3; Die Entwicklung der verschiedenen Scheideprismen von den rohen ersten bis zu den verwickelten letzten Formen C IV 2.

Man wird schon aus diesem kurzen Bericht ersehen, daß sich der Verfasser sein Ziel nicht nahe gesteckt hat. Hält man sich an den obigen Versuch der Kennzeichnung möglicher Behandlungsweisen, so wurde hier auf wissenschaftliche Strenge der Hauptwert gelegt; auch die großgedruckten Abschnitte wird man mit gespannter Aufmerksamkeit zu lesen haben. Die Sprache ist anerkennenswert sorgfältig behandelt und von dem Fachwelsch möglichst frei gehalten, das man leider in so manchen als gemeinverständlich bezeichneten optischen Schriften in breiter Ausdehnung findet. Und doch wird man bei der anscheinend unvermeidlichen Abkehr unserer Schulbildung von der Grundlage der alten Sprachen selbst bei Studenten kaum mehr auf ein wirkliches Verständnis der griechischen und lateinischen Grundwörter rechnen können, viel weniger also noch bei Lesern mit einer rein realen Vorbildung. Dem Berichtenden will es scheinen, als hätte man gelegentlich noch weiter gehen und z. B. Justierverfahren durch Eichverfahren, Tripelspiegel durch Eckenspiegel ersetzen können.

Jedenfalls kann man dem Leserkreis diese Darstellung als eine ungewöhnlich gründliche und lückenlose Behandlung eines so noch nicht zusammengefaßten Gebiets aufs beste empfehlen.

M. von Rohr.

Louis Bell, *The Telescope.* 1. Aufl. 8°. VIII, 287 S. *London, Mc Graw-Hill Publishing Co., Ltd* 1922.

Verfasser stellt sich die Aufgabe, dem Astronomen, sei er es von Beruf oder aus Liebhaberei, eine gründliche Kenntnis seines Werkzeuges, des Fernrohres, zu geben, und es kann gleich hinzugefügt werden, daß er dieser Aufgabe auch völlig gerecht wird. Wie er im Vorwort dankend hervorhebt, hatte er sich bei Abfassung des Werkes der Unterstützung der bedeutendsten amerikanischen Sternwarten und Werkstätten — Verfasser ist Amerikaner, wenn auch das Buch in englischem Verlag erschienen ist — u. a. auch des amerikanischen Vertreters der Firma Carl Zeiß in Jena zu erfreuen.

Als beste Einführung in das Verständnis des Fernrohres kann die Geschichte des Fernrohres dienen, und der Beschreibung des langen Weges von der dem Zufall oder der Spielerei zu dankenden Zusammenstellung zweier verschiedenartiger Linsen bis zu den auf scharfsinnigsten Überlegungen und mathematischen Berechnungen beruhenden Linsenkombinationen der Gegenwart mit Einschluß der verschiedenen Reflektorkonstruktionen und Fernrohrmontierungen sind die beiden ersten Kapitel des Buches gewidmet. Natürlich kommen hierbei auch die Prioritätsstreitigkeiten betreffs der Erfindung des Fernrohres und der Achromasie zur Sprache. Bei dieser Gelegenheit führt Verfasser das seitdem viel zitierte Wort des Richters Lord Camden in dem Prozeß Dollonds (Verfasser schreibt stets Dolland) gegen einen ihm die Erfindung der Achromasie abstreitenden Gegner an, daß nicht derjenige die Vorteile des Patentes genießen solle, der seine Erfindung in seinem Schreibtisch verschlossen halte, sondern der, welcher sie zum Nutzen der Allgemeinheit verwende.

Die verhältnismäßig späte Erfindung des Achromatismus kann leider als Beispiel dafür dienen, wie sehr eine vorgefaßte Meinung, zumal wenn sie sich auf eine große Autorität stützen kann, oft den Fortschritt aufhält. Newton hatte auf Grund eines Experimentes, welches darin bestand, daß er einem mit Wasser gefüllten Glasprisma so lange Bleizucker zusetzte, bis der Brechungsquotient dem des Glases gleich war, in unzulässiger Verallgemeinerung geschlossen, daß die Lichtbrechung der lichtdurchlässigen Körper deren Dispersion proportional sei. Wenigstens behaupten dies Brewster und John Herschel, wenn auch in Newtons „Optik" nichts davon zu lesen ist. Jedenfalls trug Newtons Autorität die Schuld, daß die Erfindung des achromatischen Fernrohres um drei Vierteljahrhunderte hinausgeschoben wurde. Verfasser hält übrigens für recht gut möglich, daß die Erzählung von jenem Experiment erst nachträglich zur Erklärung von Newtons falscher Ansicht entstanden sei, indessen läßt sich wohl doch eher annehmen, daß Newton aus einem unzulänglichen Versuch einen zu allgemeinen Schluß gezogen habe, als daß er ohne jedes Experiment aus rein theoretischen Betrachtungen, die doch unmöglich ausreichen konnten, seine falsche Ansicht gewonnen habe.

In dem Kapitel über die binokularen Fernrohre spricht Verfasser die Meinung aus, daß ihr Vorteil über die unokularen mehr auf Selbsttäuschung als auf physikalischen Gründen beruhe. Im letzten Krieg seien in den Vereinigten Staaten sehr sorgfältige vergleichende Untersuchungen über binokulare und unokulare Feldstecher desselben Typus angestellt worden, deren Ergebnis gewesen sei, daß der Unterschied in der Sichtbarkeit aller Arten von Objekten unter den verschiedensten Beleuchtungsverhältnissen so gut wie unmerklich gewesen sei. Eine um 5% stärkere Vergrößerung ermöglichte mit dem unokularen Instrument alles zu sehen, was im binokularen sichtbar war. Und wenn es auf Unterscheidung von Einzelheiten ankomme, so sei der Unterschied wahrscheinlich noch geringer, da es nicht leicht sei, die beiden Bilder zum Zusammenfallen zu bringen und dauernd so zu erhalten. Nach des Referenten Meinung wird bei einem im Gebrauch des Fernrohres Ungeübten vielleicht schon dadurch, daß er das eine Auge zukneifen oder mit der Hand bedecken muß, die Sehkraft des andern Auges etwas geschwächt, indem Haut und Muskeln des Gesichts einem ungewohnten Druck ausgesetzt werden, der das zum scharfen Beobachten nötige, durch keine Unbequemlichkeit gestörte körperliche Wohlbefinden etwas beeinträchtigt. Jedenfalls ziehen viele, darunter auch Sachverständige, das binokulare Fernrohr dem unokularen vor, und ganz bestreitet wohl auch Verfasser nicht den Vorzug der beidäugigen Beobachtung,

Die Frage, ob dem Refraktor oder dem Reflektor der Vorzug einzuräumen sei, hat im

Laufe der Zeit infolge der an beiden Fernrohrtypen vorgenommenen, teils optischen, teils mechanischen Verbesserungen eine wechselnde Beantwortung erfahren. Der heutige, auch vom Verfasser eingenommene Standpunkt läßt sich in die Worte fassen: Jedem das Seine! Für die eine Aufgabe eignet sich dieses, für die andere jenes Instrument besser. Ein Nachteil des Reflektors besteht bekanntlich in seiner großen Empfindlichkeit gegenüber atmosphärischen Einflüssen, weshalb man die Versilberung öfters erneuern muß. Die hierfür geeignetsten Silberlösungen sowie die bewährtesten Verfahren bei der Neuversilberung finden wir vom Verfasser angegeben. Besonders ausführlich behandelt er die Maßnahmen, um den Spiegel vor dem Blindwerden möglichst zu schützen. Sehr gut habe sich bewährt das Überziehen des Silberbelages mit einer Lackschicht, die freilich nur Bruchteile der Wellenlänge des Lichtes stark sein dürfe, damit sie die Reflexionsfähigkeit des Spiegels nicht wesentlich verringere. Bei einem zu Versuchszwecken mit einer solchen Lackschicht überzogenen und nach einigem Gebrauch an einem trocknen Ort aufbewahrten Spiegel stellte Verfasser fest, daß seine Reflexionsfähigkeit in sieben Jahren von 0,80 nur auf 0,70 zurückgegangen war. Der 24zöllige Reflektor des *Harvard Observatory* bedürfe seit Anwendung des Lacküberzuges nur etwa alle halbe Jahre der Neuversilberung, während sie früher alle sechs Wochen nötig gewesen sei. Für die Instandhaltung des Spiegels während des Nichtgebrauches ist die Hauptsache der Schutz vor Feuchtigkeit, und auch hier teilt Verfasser mit, was bisher mit leidlichem Erfolg zur Anwendung gekommen ist.

Als beste der bisher erschienenen Schriften über die Justierung und Prüfung eines Objektivs bezeichnet Verfasser die darauf bezügliche Abhandlung der Firma *T. Cooke & Sons* in York, von welcher in *dieser Zeitschr.* **14.** *S. 113. 1894* eine Übersetzung durch R. Straubel geliefert worden ist. Außer den dort besprochenen bringt Verfasser natürlich auch die neuere, Hartmannsche Methode.

Ein Kapitel ist der Herstellung und Bearbeitung des optischen Glases gewidmet, ein anderes den Okularen, ein drittes den Nebenapparaten, hauptsächlich den Mikrometern, dem Uhrwerk, der elektrischen Kontrolle des Uhrganges, dem Objektivprisma, den Spektroskopen, den Photometern; wieder ein anderes Kapitel handelt von der Aufstellung des Fernrohres und dem Beobachtungsraum, wo besonders für Liebhaberastronomen, die sich nicht gern der Kälte und dem Zugwind aussetzen mögen, das Hartness-Türmchen von Interesse sein dürfte. In dem letzten Kapitel über die Abhängigkeit der Güte der Beobachtung vom Luftzustand und über die am vorteilhaftesten anzuwendende Vergrößerung stellt Verfasser eine zehnteilige Skala für die Güte der Sichtbarkeitsbedingungen auf und erwähnt, daß an Orten mit sehr verschiedenen klimatischen Bedingungen vortreffliche Beobachtungsmöglichkeit herrschen kann, wie auf der Tochter-Sternwarte des *Harvard Observatory* in *Mandeville* auf *Jamaica* und auf der 7000 Fuß hoch gelegenen Sternwarte zu *Flagstaff*, *Arizona*; daß aber andererseits nicht alle Bergsternwarten günstige Beobachtungsgelegenheiten bieten; so sehr sich z. B. die Sternwarte auf dem *Mount Hamilton* und dem *Mount Wilson* dadurch auszeichnen, so sehr sei das Gegenteil der Fall bei der Sternwarte auf dem *Pike's Peak*.

Nicht unerwähnt darf bleiben, daß dem Text 190 Figuren beigegeben sind.

Wenn wir eine wünschenswerte kleine Verbesserung an dem Werke anführen sollen, so wäre es die, daß in den elf Kapiteln die Unterabteilungen als solche hervorgehoben sein möchten.

Dem Leser, welcher in dieses oder jenes Gebiet tiefer eindringen will, gibt Verfasser die wichtigsten Originalschriften an. *Otto Knopf.*

Alfred Rohde, Die Geschichte der wissenschaftlichen Instrumente vom Beginn der Renaissance bis zum Ausgang des 18. Jahrhunderts. (Monographien der Kunstgeschichte XVI). 8°. VIII, 119 S. m. 139 Abb. Leipzig, Klinkhardt & Biermann 1923. Geb. Gz. 6.

Schon die Einordnung des Buches unter die Monographien des Kunstgewerbes läßt schließen, daß der Standpunkt des Künstlers seinen Inhalt beherrscht. Damit ist nicht gesagt, daß das Buch nicht auch das höchste Interesse des Leserkreises unserer wissenschaftlichen Zeitschrift erregt. Dem Mechaniker wie dem Mathematiker und Physiker sind die künstlerischen Formen der alten Instrumente genau so vertraut wie ihr technischer Zweck. Das Buch Rohdes lehrt uns

auf jeder Seite von neuem, daß der Begriff „Mechanische Kunst" zu einem guten Teil ästhetischen Ursprungs ist.

Der Verfasser hat trotz des rein künstlerischen Zweckes seiner Arbeit als Disposition der Darstellung die sachliche Gruppierung der Instrumente in „zeitliche, räumliche und astronomisch-astrologische" zugrunde gelegt. Außer einer ausführlichen, für weitere Forschungen sehr wichtigen Literatur-Übersicht ist den drei Abschnitten eine Einleitung vorangestellt, die nach einer kurzen Schilderung der frühesten wissenschaftlichen Grundlagen des Instrumentenbaues ausführlich auf den „Ornamentstich" eingeht, jene Kunstrichtung, die wesentlich zur Ausschmückung der Renaissance-Instrumente diente. Es wird gezeigt, wie die deutschen „Kleinmeister" aus der Quattrocento-Ornamentik einen eigenen Stil entwickelten, auf den auch französisch-italienische wie niederländische Künstler richtunggebend einwirkten. Ein ausgesprochener Einfluß kunstgewerblicher Technik auf den Instrumentenbau beginnt etwa 1550. Bis dahin waren die Gelehrten selbst Verfertiger der Instrumente, die sie brauchten, so Regiomontan, Furtenbach, Vopel, Apian.

Die erste Gruppe der von Rohde mit großem Fleiß zusammengetragenen Instrumente umfaßt Horizontal- und Äquatorial-Sonnenuhren sowie Sonnenringe und Nachtuhren, programmgemäß unter besonderer Hervorhebung ihres künstlerischen Wertes und unter Einflechtung umfassender biographischer Notizen über die Künstler. An der Spitze stehen eine Anzahl von Instrumenten aus der Werkstatt Christoph Schißler d. Ä. in Augsburg (gest. 1609). Es folgen schöne Werke von Ulrich Schniep in München, der wahrscheinlich auch der Augsburger Schule entstammt. Von ihm sind namentlich zahlreiche kleine Reisesonnenuhren verfertigt worden. Auch Erasmus Habermel, „astronomischer und geometrischer Instrumentenmacher Rudolfs II.", der Mitarbeiter Tycho de Brahes während dessen Prager Aufenthalts, ist mit einer schönen, einfach ausgestatteten Horizontal-Sonnenuhr vertreten. Von Dresdener Künstlern begegnet uns Christoph Trechsler d. Ä. als Verfertiger einer Horizontal-Sonnenuhr mit Kompaß von 1622. Ähnliche Instrumente, jedoch aus Elfenbein, stammen von Paulus Reimann-Nürnberg und von den Augsburgern Leonhart Miller und Thomas Tucher. Neben Elfenbein diente übrigens auch häufig Solenhofer Stein als Material.

Der Bau von Äquatorial-Sonnenuhren wurde wieder von anderen Künstlern gepflegt, so von Andreas Vogler, Joh. Georg Vogler, Nicolaus Rugendas, Joh. Martin und Joh. Willebrand, sämtlich in Augsburg, in Wien von Franz Lubach und Melchior Weltin. Sehr schöne Instrumente in Durchbrucharbeit stammen von Claude Dunod in Düsseldorf.

Unter den Nachtuhren befinden sich besonders reizvolle Instrumente von Wolfgang Hagen-Wolfenbüttel (1643—1705).

Zu den räumlichen Meßinstrumenten rechnet der Verfasser zunächst Lineale, Winkel und Zirkel verschiedener Art, deren einfache Grundformen ja besonders zur Anbringung künstlerischen Schmuckes anregten. Auch ein zart verziertes Hängezeug mit dem kurfürstl. sächs. Wappen ist hier wiedergegeben.

Sehr reichhaltig, ihrer früheren großen Bedeutung entsprechend, sind im II. Abschnitt die Schritt- und Wegmesser (Hodometer) vertreten. Sie wurden bekanntlich im 16. Jahrh. zu kartographischen Zwecken verwendet. Nicht nur Menschen sondern auch Pferde dienten dabei als Antriebsmittel. Hervorragend in künstlerischer wie technischer Hinsicht waren auf diesem Gebiete die Instrumente von Thomas Rückert in Augsburg; aber auch wunderschöne Erzeugnisse von Erasmus Habermel, von den Augsburgern Martin Feyhel und Joh. Martin sowie von Christoph Trechsler werden vorgeführt.

Reichliche Gelegenheit zu künstlerischen Schmuck gaben auch die Winkelmeß- und Scheibeninstrumente der Vorfahren unserer Geodäten und Astronomen. Unter den Verfertigern solcher Instrumente begegnen wir vielen der früher aufgezählten Namen. Der Mathem.-Physikal. Salon in Dresden birgt vor allem schöne Universalinstrumente und Auftragbussolen. Als neue erfolgreiche Künstler auf diesem Gebiet treten uns Odelem-Braunschweig (um 1700), Michael Scheffelt-Ulm und Daniel Weltzien-Hamburg entgegen.

Der III. Teil des Werkes gibt einige besonders charakteristische astronomisch-astrologische Instrumente wieder, so Armillarsphären, Torqueten und Astrolabien, ferner Kalendarien und Aspekt-

schemen. Sehr ausführlich werden hier nach Franz Ritters „Astrolabium" die Konstruktionsgrundsätze dieses wichtigen Instruments behandelt. Auch in dieser Instrumentengruppe begegnen uns wieder die Namen Schißler und Habermel. Ihre Werke wie die anderer, zumeist deutscher Künstler zeugen ebenso von Geschmack wie sachlicher Erfindungsgabe.

Eine Markentafel beschließt das Buch, dessen zahlreiche Abbildungen auf dem durchweg benutzten Kunstdruckpapier fast ausnahmslos vorzüglich zur Geltung kommen. Es möge recht zahlreiche Leser finden. *G.*

O. D. Chwolson, Lehrbuch der Physik. 2. Aufl. 3. Band, 1. Abteilung. Die Lehre von der Wärme. Herausgeg. von Gerhard Schmidt. VIII u. 150 S. 105 Abbild. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1922.

Der dritte Band des berühmten Lehrbuches der Physik von Chwolson ist in der zweiten Auflage in zwei Teile zerlegt worden, deren erster nun vorliegt. Er umfaßt sieben Kapitel des Bandes, in deren Einteilung und logisch wohlbegründeter Folge gegen früher nichts geändert ist. Nach einem Einleitungskapitel wird zunächst die Thermometrie erörtert, dann die Abhängigkeit der Dimensionen und des Druckes der Körper von der Temperatur, die Wärmekapazität, der Übergang verschiedener Formen von Energie in Wärme einschließlich der thermochemischen Erscheinungen, die Erkaltung des Körpers und endlich die Wärmeleitung.

Das in der ersten Auflage 100 Seiten umfassende vierte Kapitel „Wärmekapazität" ist am stärksten umgearbeitet. Es ist zunächst auf die Hälfte zusammengedrückt worden, und dann sind die Ergebnisse der neueren Forschung in den Paragraphen 13 bis 22 dargelegt, die fast den gleichen Umfang haben wie früher das ganze Kapitel. Wenn man auch im vierten Kapitel wie übrigens fast durchweg in dem Buch beanstanden muß, daß die nur noch historisch interessanten Versuchsverfahren breit und an fast zu reichlichen altmodischen Abbildungen, die neueren Methoden aber nur kurz und meistens ganz ohne Abbildungen erörtert werden, so bietet dafür dieses Kapitel in seinem neu eingefügten Teil eine umfang- und inhaltsreiche, vorzüglich gelungene Darstellung des modernen, auf theoretischer Grundlage fußende Forschung über die Wärmekapazität. Merkwürdigerweise fehlen von demjenigen gasförmigen Stoff, dessen spezifische Wärme wohl am gründlichsten experimentell erforscht ist, nämlich dem Wasserdampf, viele neueren Ergebnisse. Die Untersuchung von Knoblauch und Winkhaus aus dem Jahre 1915 ist noch nicht verarbeitet, die Abhängigkeit der spezifischen Wärme vom Druck bei verschiedenen Temperaturen, die übrigens neuerdings ebenso bei Ammoniak gefunden worden ist, ist nicht erwähnt.

In dem sechsten Kapitel „Erkaltung der Körper", das die Gesetze der äußeren sogenannten Wärmeleitfähigkeit enthält, ist zwar ausgesprochen, daß die äußere Wärmeleitfähigkeit keine Konstante ist; aber aus vielleicht historisch erklärlichen Gründen ist leider nicht die Konsequenz gezogen, dieses Kapitel mit dem über „Wärmeleitung" zu verschmelzen. Die äußere Wärmeleitfähigkeit, ein schlecht definierter Mischling von Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung, ist ein Lieblingskind der Physiker älterer Schule. In dem Buch von Gröber, „Die Grundgesetze der Wärmeleitung und des Wärmeüberganges" (Berlin, Julius Springer, 1921), wird auf Seite 171 bis 177 ein sehr interessanter „geschichtlicher Rückblick" auf die Entwicklung dieser Größe gegeben und gezeigt, daß sie eine Funktion von mindestens sieben Veränderlichen ist; Gröber versucht ihr daher mit Ähnlichkeitsbetrachtungen beizukommen. Diese und andere neuere Forschungen über den Wärmeübergang sind nicht behandelt.

Daß auch in einem so umfassenden Lehrbuch nicht alles enthalten und jedes einzelne ganz gleichmäßig gelungen ist, nimmt nicht wunder. Da aber oben einige Schwächen des Werkes erwähnt werden mußten, so soll auch noch ausdrücklich auf einige seiner bekannten Vorzüge hingewiesen werden, wie die überaus klare Darstellungsweise, die Einfachheit der mathematischen Entwicklungen, die glückliche Auswahl von Zahlenwerten und Literaturangaben. In dieser Hinsicht hat das Buch nicht nur durch die wohlgelungene Neubearbeitung des vierten Kapitels noch weiter gewonnen. Nach wie vor ist ihm daher wohl kaum ein Werk an die Seite zu stellen, das über die meisten Gebiete der Wärmelehre in so einfacher und gründlicher Weise orientiert. *Max Jakob.*

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

ZEITSCHRIFT
FÜR
INSTRUMENTENKUNDE.

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik.

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

Dreiundvierzigster Jahrgang.

1923.

12. Heft: Dezember.

Inhalt:

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1923.

Die Zeitschrift für Instrumentenkunde

erscheint in monatlichen Heften und kann im In- und Auslande nur durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Die Berechnung erfolgt heftweise.

Wissenschaftliche Original-Beiträge werden honoriert.

Autoren von Arbeiten, die in anderen Zeitschriften des In- und Auslandes erschienen und für die Leser der Zeitschrift für Instrumentenkunde von Interesse sind, werden um Einsendung eines Sonderabzuges gebeten, um darüber im Referate-Teil berichten zu können.

Redaktionelle Anfragen und Mitteilungen wolle man an den Schriftleiter, Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel, Charlottenburg 2, Knesebeck-Straße 22, richten.

Die Zeitschrift nimmt **Anzeigen** gewerblichen und literarischen Inhalts, Stellengesuche und -angebote usw. auf und sichert denselben die weiteste und zweckmäßigste Verbreitung.

Preis d. Inland-Anzeigen bei 1/4 1/2 1/1 Seite Umfang
22.50 45.— 90.— Goldmark

Bei 6 12 malig. Aufnahme innerhalb Jahresfrist
10 20 % Nachlaß.

Kleine Anzeigen: Die einspaltige Millimeterzeile oder deren Raum von Strich zu Strich gemessen: 0,20 Goldmark. Die Umrechnung des Goldmarkbetrages erfolgt zum Berliner Dollarbriefkurs des Vortages der Zahlung. (4.20 Goldmark = 1 Dollar.) Die Zahlung hat innerhalb 5 Tagen nach Rechnungsdatum (für Gelegenheitsanzeigen und Stellegesuche sofort bei Bestellung) nur auf Postscheckkonto 118935 Berlin Julius Springer abzug- und spesenfrei zu erfolgen. Bei Zahlungsverzug werden die üblichen Bankzinsen berechnet.

Für Vorzugsseiten, Auslandsanzeigen und Beilagen, Preise auf Anfrage.

Rücksendung von Bildstöcken erfolgt zu Lasten der Eigentümer.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr 23/24.
Fernsprecher: Amt Kurfürst 6050—53. Drahtanschrift: Springerbuch
Reichsbank-Giro Konto — Deutsche Bank, Berlin, Depositenkasse C. Postscheck-Konto für Bezug von Zeitschriften und einzelnen Heften: Berlin Nr. 20120. Julius Springer Bezugsabteilung für Zeitschriften. — Postscheck-Konto für Anzeigen, Beilagen und Bücherbezug: Berlin Nr. 118935 Julius Springer.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLIII. Jahrgang. **Dezember 1923.** Zwölftes Heft.

Über einen Blinkprojektor.

Von

Fritz Goos und **Peter Paul Koch** in Hamburg.

Probleme der verschiedensten Art führen zu der Aufgabe, festzustellen, ob in einem System, das aus zahlreichen Einzelteilen besteht, durch irgendwelche Einflüsse irgendwelche Veränderungen an den Einzelteilen eingetreten sind.

Meist wird zur Lösung der Aufgabe in der Weise vorgegangen, daß man von dem System, bei dem Veränderungen an den Einzelteilen festgestellt werden sollen in geeigneter Weise photographische Aufnahmen herstellt und diese dann nach den vermuteten Veränderungen absucht. Der naheliegendste Weg würde darin bestehen, daß man zwei der zu vergleichenden Aufnahmen etwa nebeneinanderlegt und versucht Veränderungen aufzufinden, indem man entsprechende Stellen der beiden Aufnahmen miteinander vergleicht. Das Verfahren führt zu brauchbaren Ergebnissen, solange die Einzelsysteme nicht allzu dicht gedrängt sind. Es versagt hoffnungslos in komplizierteren Fällen.

Einen Ausweg wies einmal die Heranziehung des Stereoskops und dann die Schaffung des Blinkmikroskops. Bei der Stereoskopmethode, deren Ausbildung und Heranziehung zur erfolgreichen Behandlung zahlreicher astronomischer Fragen wir Herrn M. Wolf verdanken, werden die zu vergleichenden Einzelaufnahmen in eine der üblichen Stereoskopkonstruktionen gebracht und zweiäugig betrachtet. Falls Unterschiede in Einzelheiten vorhanden sind, fallen diese dem Beobachter ohne weiteres ins Auge. Die in Frage kommenden Stellen werden markiert und können dann zur quantitativen Feststellung der Unterschiede in geeigneter Weise vermessen werden.

Die Fähigkeit zum stereoskopischen Sehen ist erfahrungsgemäß individuell verschieden. Das Blinkmikroskop ist von dieser Beschränkung frei. Sein Prinzip besteht darin, daß einander entsprechende Stellen der zu vergleichenden Aufnahmen nicht gleichzeitig, sondern nacheinander zur Beobachtung kommen, und zwar derart, daß — meist unter Zwischenstellung eines vergrößernden optischen Systems — die beiden Teilbilder entweder einem Auge abwechselnd dargeboten werden oder daß bei Benutzung beider Augen der Wechsel in der Weise erfolgt, daß zunächst das eine Auge das eine Bild betrachtet und dann das andere Auge das andere Bild. Die die intermittierende Betrachtung liefernde Blinkeinrichtung kann in mannigfacher Art verwirklicht werden. Sie arbeitet meist mit einigen Intermittenzen pro Sekunde.

Die Vorzüge und Nachteile der beiden geschilderten Verfahren hat M. Wolf[1])

---

[1]) M. Wolf, *Astron. Nachr.* ***218.*** *S. 74. 1923.*

für den Fall der Messung von Eigenbewegungen von Sternen in kritischer Weise gegeneinander abgewogen.

Bei den im hiesigen Institut auszuführenden Untersuchungen handelte es sich zunächst um die quantitative Verfolgung von Vorgängen, die beim photographischen Prozeß am einzelnen Bromsilberkorn auftreten, wie z. B. der Korn-Formänderung beim Entwickeln und ihrer Beeinflußbarkeit durch verschiedene Faktoren oder der Frage nach dem Zusammenhang zwischen Korngröße und Lichtempfindlichkeit und viele andere mehr [1]).

Zur Auswertung der mit den *l. c.* beschriebenen Methoden erhaltenen Doppelaufnahmen, von denen also etwa die eine ein Feld mit einigen hundert unbelichteten Bromsilberkörnern, die andere das gleiche Feld nach Belichtung und Reduktion der Körner zu Silber darstellte, wurden die verschiedenen oben beschriebenen Möglichkeiten ausprobiert, wobei sich schließlich die Methode des Blinkmikroskops als die geeignetste erwies.

Verwandt wurde zuerst ein selbstkonstruiertes Instrument, bei dem mit beiden Augen beobachtet wurde und das mit einer Blinkvorrichtung versehen war, die den Durchblick nach den Teilbildern den beiden Augen abwechselnd freigab und später mit einem Instrument von Leitz, das an ein Binokularmikroskop angepaßt war und dessen Blinkmechanismus im übrigen wie eben beschrieben wirkte.

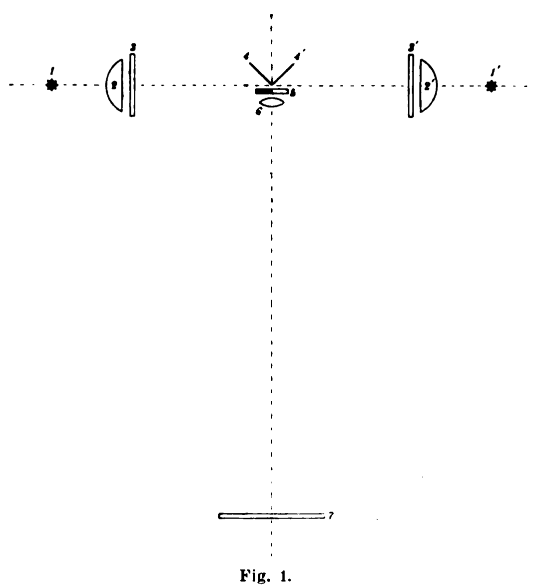


Fig. 1.

Bei beiden Apparaten stellte sich übeinstimmend heraus, daß ein längeres Arbeiten zu geradezu qualvoller Ermüdung der Augen verbunden mit Zuständen erheblicher Nervosität auch bei sonst gesunden Beobachtern führte.

Eine kleine Abänderung behob die geschilderten Übelstände [2]) und verwandelte die Beobachtung mit dem Blinkapparat geradezu in einen ästhetischen Genuß. Dazu ist die in Fig. 1 schematisch dargestellte Anordnung getroffen. Die beiden zu vergleichenden Teilaufnahmen 3 und 3′ werden je mit Hilfe der Lichtquellen 1 und 1′ und der Kondensoren 2 und 2′ beleuchtet und dann durch Vermittlung der Spiegel 4 und 4′ mit Hilfe des Objektivs 6 etwa dreifach vergrößert auf der Mattscheibe 7 abgebildet. Das dort entstehende Bild wird entweder direkt ohne Zuhilfenahme weiterer Hilfsmittel oder — falls erwünscht — mit einer Lupe beobachtet. Der mit einem regulierbaren kleinen Motor angetriebene Blinkmechanismus 5 arbeitet unmittelbar vor dem Objektiv 6 auf der Seite nach den Spiegeln 4 und 4′ zu, und zwar so,

[1]) P. P. Koch und G. du Prel, *Physikal. Zeitschr.* **17.** *S. 535. 1916.*

[2]) Wodurch diese bedingt sind, können wir nicht mit Bestimmtheit angeben. Vielleicht hängen sie damit zusammen, daß beide Augen abwechselnd zur Beobachtung der verschiedenen Teilbilder herangezogen werden, vielleicht aber auch mit der notwendigerweise benutzten geringen Wechselfrequenz. Denn es soll festgestellt worden sein (Lehmann, Die Kinematographie, S. 25, Teubner 1911), daß Personen bei Vorführung stark flimmernder Kinoaufnahmen von Schwindel und Ohnmacht befallen werden können.

daß er abwechselnd die Objektivhälften auf der Seite des Spiegels 4 und dann die auf der Seite des Spiegels 4′ freigibt. Dadurch, daß der Blinkmechanismus die eine Hälfte des Objektivs kontinuierlich abblendet, während er gleichzeitig die andere Hälfte des Objektivs kontinuierlich dem Lichtdurchtritt öffnet, gehen die auf der Mattscheibe 7 nacheinander entworfenen Teilbilder zeitlich kontinuierlich ineinander über.

Folgende Einzelheiten in der Ausführung sind vielleicht von allgemeinem Interesse.

Als Lichtquelle (1, 1′) dienen zwei matte Nitra-Glühlampen von 75 Watt in Kugelform in einer Entfernung von etwa 12 cm von den plankonvexen Kondensorlinsen (2, 2′). Diese haben 80 mm Durchmesser und 85 mm Brennweite und gestatten ein Plattenformat bis 65 mm Durchmesser auszunutzen. Die senkrecht stehenden Plattentische (3, 3′) haben dementsprechend auch Öffnungen von 65 mm Durchmesser, die aber bei Benutzung sehr kleiner Platten durch Einlageblenden auf 30 mm Öffnung verkleinert werden können. Die Platten, die mit dem Apparat untersucht werden sollen, werden zunächst in ungefähr richtiger Lage mittels einfacher Haltevorrichtung auf den Plattentischen befestigt. Die Feinjustierung, die bewirken soll, daß die sich entsprechenden Objekte auf den beiden Platten auf der gleichen Stelle der Bildebene (Mattscheibe 7) erscheinen und die in einer Bewegung in zwei senkrecht zueinander stehenden Koordinaten und einer Positionswinkeldrehung besteht, wird während des Blinkens und während der Beobachter die Bilder auf der Mattscheibe betrachtet, durch Drehen von Schlüsseln, die in der Nähe der Mattscheibe endigen, ausgeführt. Zwei von diesen Schlüsseln bewirken geringe Kippungen der Spiegel (4 und 4′) um zwei senkrecht zueinander stehende Achsen und damit eine scheinbare Verschiebung der beiden Platten gegeneinander in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen, durch welchen Mechanismus ein technisch immer etwas kostspielig auszuführender Kreuzschlitten auf einem der Plattentische umgangen ist. Der dritte Schlüssel, ein einfacher Hebel, dreht einen der beiden Plattentische in Positionswinkel.

Als abbildendes Objektiv (6) dient ein Tessar 1 : 4,5 von 18 cm Brennweite.

Der ganze hier geschilderte Aufbau und die Benutzung nur eines Objektivs ist nicht allein aus Sparsamkeitsgründen gewählt worden. Die Benutzung zweier Objektive und zweier konvergierender Strahlengänge führt nämlich zu dem Übelstand, daß der Beobachter beim Blicken auf die Mattscheibe das jeweils projizierte Bild in zwei verschiedenen Richtungen am hellsten sieht, nämlich immer gerade in der Richtung nach dem jeweils in Tätigkeit befindlichem Objektiv, und daß der Beobachter allmählich unwillkürlich dazu kommt, im Takte des Blinkens mit dem Kopfe hin und her zu wackeln. Durch Benutzung der beiden Hälften eines Objektivs wird dieser Übelstand so gut wie vollständig beseitigt.

Der Blinkmechanismus (5) besteht in einer runden Scheibe mit einem Sektorausschnitt von 180° Winkelöffnung. Die einfachste Methode, das wechselseitige Verdecken der beiden Objektivhälften zu bewirken, wäre ein einfaches Rotieren der Scheibe gewesen, aber wie Versuche zeigten, widerstrebte dem Auge ein so gleichmäßig ineinander übergehender Wechsel der Teilbilder, das Auge wünscht vielmehr, daß der Wechsel relativ schnell erfolgt, und daß dann jedes Teilbild eine Zeitlang stationär bleibt. Dies wird in einfachster Weise bewirkt durch ein Pendeln der Blinkscheibe um 90° nach jeder Seite um eine Mittellage herum, die von beiden Teilbildern gleich viel (und halbes) Licht hindurchläßt, während die volle Beleuchtung der jeweiligen beiden Teilbilder mit den Umkehrpunkten der Pendelbewegung synchron ist.

Die technische Ausführung des Pendelns geschieht derart, daß die 180° Pendelbewegung der Blinkscheibe (5) zunächst durch Seilübertragung auf eine Scheibe (8) (siehe dazu auch untenstehende Figur 2) von dem 3-fachen Durchmesser dieser Blinkscheibe auf 60° herabgemindert wird. Die große Scheibe (8) ist mit einer Exzenterscheibe (9) gekoppelt, die ihrerseits wieder von einem Motor, dessen Tourenzahl in weiten Grenzen veränderlich ist, angetrieben wird.

Das Arbeiten mit dem Apparat kann nun in verschiedener Weise vor sich gehen, und zwar in bezug auf den Blinkmechanismus:

1. Durch schnelles oder langsameres Blinken je nach Bedarf und Gefühl mittels Motorantrieb,
2. durch Blinken mit Handbetrieb,
3. durch Einstellen der Blinkscheibe auf Mittellage und gleichzeitiges Beobachten beider Teilbilder, die dann durch Feinjustierung direkt nebeneinander gestellt werden.

Ferner in bezug auf die Fixierung der Bilder:

1. Durch Blicken auf die Mattscheibe,
2. durch Lupenbetrachtung, wobei eine Einstellupe auf eine an Stelle der Mattscheibe einzuschiebende klare Glasplatte aufgesetzt wird,
3. durch Nachzeichnen der Objekte auf Pauspapier, das auf der klaren Glasscheibe durch einen Rahmen festgeklemmt werden kann.

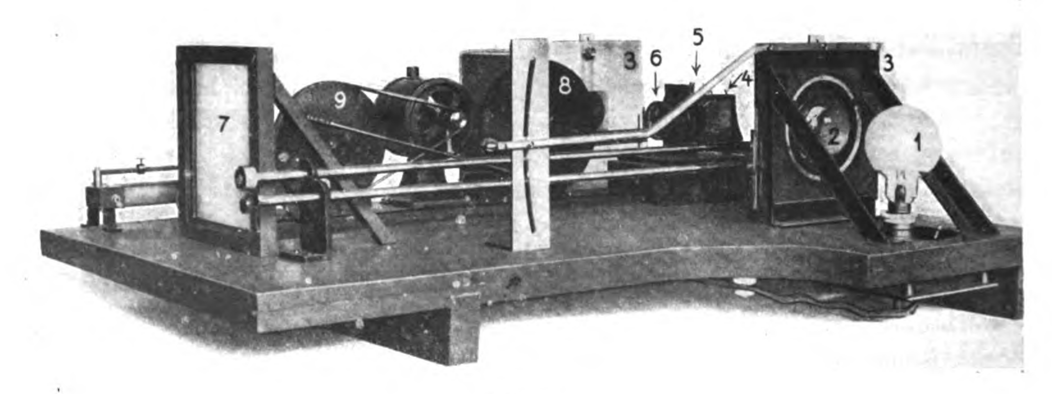


Fig. 2.

Die beigefügte Photographie (Fig. 2) gibt ein Bild des in der Institutswerkstatt angefertigten Apparates, doch ist der besseren Übersicht wegen der Holzkasten, der den Strahlengang vom Objektiv bis zur Mattscheibe lichtdicht abdeckt, fortgelassen, ferner der Schutzkasten über dem Spiegel- und Blinkmechanismus und einer der beiden Lichtschutzkasten über den Beleuchtungslampen.

Über eine Reihe mit dem Instrument erhaltener Ergebnisse wird an anderer Stelle berichtet werden. Es bietet natürlich keine Schwierigkeiten, den Apparat für andere, insbesondere auch große Plattenformate einzurichten.

Hamburg, Mai 1923.

Physikalisches Staatsinstitut.

Totalreflektierende Prismen.

Von
Prof. **H. Cranz** in Stuttgart.

(Schluß von Seite 329.)

§ 9. Geradsichtige, vollständig bildumkehrende Prismen.

Es fragt sich, unter welcher Bedingung bei Porroidprismen die Mittelpunkte der ersten und vierten Ellipse in dieselbe Parallele zur x-Achse fallen können, so daß ein geradsichtiges Prisma ohne Seitenverschiebung der Lichtachse entstände.

Die Lichtraumachse muß dann von A_1 nach A_2 gegen die yz-Ebene hin fallen [Neigungswinkel $(2\,\varepsilon_1 - 90^0)$]. Von der zweiten gegen die dritte Fläche hin muß ihre Richtung ebenfalls fallen. Der Neigungswinkel ist bestimmt durch $\operatorname{tg} h = \frac{x_2}{z_2}$. Der Punkt B, in dem die durch A_1 parallel zur xy-Ebene gelegte Ebene von diesem Strahl geschnitten wird, ist die Mitte seines ganzen Weges, muß also mindestens um die Größe $r \operatorname{tg} \varepsilon_1$ tiefer als A_1 liegen, wenn r den Lichtzylinderradius bedeutet. Der Lichtzylinder zwischen Fläche II und III muß an dem durch die Flächen I und IV gebildeten Ausschnitt vorbeigehen, also muß B von der Vertikalen des Punktes A_1 mindestens einen Abstand gleich $2\,r$ haben. Die Projektion von $A_1 A_2$ auf die yz-Ebene ist daher gleich oder größer $\frac{2\,r}{\cos \lambda_1}$, die Projektion von $A_2 B \gtreqless 2\,r \operatorname{tg} \lambda_1$, daher die Tiefe von A_2 unter A_1 gleich $\frac{2\,r}{\cos \lambda_1} \operatorname{tg} (2\,\varepsilon_1 - 90^0)$, die Tiefe von B unter $A_2 \gtreqless 2\,r \operatorname{tg} \lambda_1 \frac{x_2}{z_2}$. Die Grenzbedingung für die Konstruktion eines geradsichtigen Prismas ist also durch die Gleichung gegeben:

$$r \operatorname{tg} \varepsilon_1 = \frac{2\,r \operatorname{tg} (2\,\varepsilon_1 - 90^0)}{\cos \lambda_1} + 2\,r \operatorname{tg} \lambda \frac{x_2}{z_2}. \tag{25}$$

1. Beispiel: $\varepsilon_1 = 64^0$; $\varepsilon_2 = 46^0$.

Es wird gemäß dem vorigen Paragraphen:

$$a_1 = \cos \varepsilon_1 = 0{,}438\,3711$$
$$b_1 = 0{,}869\,0566$$
$$\operatorname{tg} \lambda_1 = 0{,}263\,6803$$

$\cos \lambda_1 = 0{,}966\,5577$	$c_1 = 0{,}229\,0662$
$\sin \lambda_1 = 0{,}254\,7457$	$a_2 = 0{,}183\,1677$
$b_2 = -0{,}548\,5695$	$c_2 = -0{,}815\,7982$
$C_{12} = 0{,}583\,3179$	$C_{23} = 0{,}398\,1430$
$C_{14} = 0{,}510\,5188$	$\lambda_1 = 14^0\,51'\,34{,}11''$
$\sphericalangle\,(\mathrm{I\,II}) = 54^0\,18'\,56{,}71''$	$\sphericalangle\,(\mathrm{II\,III}) = 66^0\,32'\,16{,}39''$
$\sphericalangle\,(\mathrm{III\,IV}) = 120^0\,41'\,54{,}2''$	$x_2 = 0{,}168\,7144$
$z_2 = 0{,}932\,3700$	$\operatorname{tg} h = 0{,}180\,9522 = \frac{x_2}{z_2}$.

Ist l der Abstand des Punktes B von der optischen Achse $A_1 A_4$, so muß die Gleichung bestehen:

$$l \left(\frac{\operatorname{tg} (2\,\varepsilon_1 - 90^0)}{\cos \lambda_1} + \operatorname{tg} \lambda_1 \operatorname{tg} h \right) = r \operatorname{tg} \varepsilon_1 .$$

woraus

$$l = r \cdot 2{,}494\,4879\,,$$

ferner

$$\tfrac{1}{2} A_1 A_4 = r \cdot 2{,}047\,7947\,.$$

Die wahre Länge von $A_0 A_1$ ist $r \cdot 2{,}047\,7947$ (A_0 ist die Mitte der Eintrittsfläche).

$$\text{wahre Länge von } A_1 A_2 = 3{,}273\,7504 \cdot r$$

$$\text{„ „ „ } A_2 B = 0{,}668\,5287 \cdot r\,.$$

Es soll die Richtung der kleinen Halbachse für die Reflexionsellipse II bestimmt werden; ihre Richtungswinkel sind α, β, γ. Da sie sowohl auf $A_1 A_2$ als auf $A_2 B$ senkrecht steht, erhält man für sie die beiden Gleichungen:

$$\cos\alpha \cos 2\,\varepsilon_1 + \cos\beta \sin 2\,\varepsilon_1 \cos\lambda_1 + \cos\gamma \sin 2\,\varepsilon_1 \sin\lambda_1 = 0$$

und

$$\cos\alpha \cos(90^0 + h) - \cos\gamma \sin(90 + h) = 0\,.$$

Hieraus

$$\cos\alpha = 0{,}752\,6507$$

$$\cos\beta = 0{,}644\,1799$$

$$\cos\gamma = -0{,}136\,1938\,.$$

Denkt man sich in B auf $A_2 A_3$ einen Querschnitt des Lichtzylinders senkrecht gestellt und in ihm denjenigen Durchmesser gezogen, der parallel zur xz-Ebene liegt und mit den Koordinatenachsen die ∢ α', β', γ' bildet, so ist:

$$\alpha' = h\,, \qquad \beta' = +90^0. \qquad \gamma' = (90^0 + h)\,,$$

folglich ist der Verdrehungswinkel ψ, den dieser Querschnittsdurchmesser mit der kleinen Halbachse von II bildet, gegeben durch

$$\cos\psi = \cos\alpha \cos\alpha' + \cos\beta \cos\beta' + \cos\gamma \cos\gamma'$$

$$\cos\psi = \frac{\cos\alpha - \cos\gamma \operatorname{tg} h}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 h}} = 0{,}764\,8738\,.$$

Der Verdrehungswinkel zwischen der kleinen Halbachse der Ellipse II gegen Ellipse I ist gegeben durch:

$$\cos\mu = -\cos\beta \sin\lambda + \cos\gamma \cos\lambda = \quad 0{,}177\,2660\,.$$

Die kleine Halbachse der ersten Ellipse ist gegen die xz-Ebene um den ∢ λ verdreht. Um die Lichtachse herum ist also die Einfallsebene aus der xy-Ebene heraus bis zur Fläche I um

$$\lambda = 14^0\,51'\,34{,}11''\,,$$

von Fläche I bis III um

$$\mu = 100^0\,12'\,37{,}99''\,.$$

von Fläche II bis III um

$$2\,\psi = 80^0\,23'\,7{,}72''$$

verdreht.

Um zu prüfen, ob im Falle der Geradsichtigkeit die beiden Reflexionsellipsen auseinander liegen, einander berühren oder schneiden (letzteres darf nicht der Fall sein), bestimmt man die Lage der Schnittlinie von Fläche II und III. Diese muß dann in den drei erwähnten Fällen von Punkt B einen Abstand haben, der $\gtreqless r$ ist. Legt man den Anfang des Koordinatensystems in die Mitte zwischen $A_1 A_4$ und bezeichnet die Koordinaten von A_2 mit ξ, η, ζ, so ist die Gleichung der Ebene II:

$$x a_2 + y b_2 + z c_2 = \xi a_2 + \eta b_2 + \zeta c_2\,.$$

Für die Ebene III verwandelt sich a_2 in $-a_2$, c_2 in $-c_2$, ξ in $-\xi$ und ζ in $-\zeta$ daher ist die Gleichung von Fläche III:

$$-a_2 x + b_2 y - c_2 z = a_2 \xi + b_2 \eta + c_2 \zeta,$$

woraus für die Schnittlinie folgt:

$$\frac{x}{z} = -\frac{c_2}{a_2} \quad \text{und} \quad y = \frac{a_2 \xi + b_2 \eta + c_2 \zeta}{b_2}.$$

Hierbei ist:

$$\xi = l \operatorname{tg} \lambda_1 \operatorname{tg} h,$$
$$\eta = l,$$
$$\zeta = l \operatorname{tg} \lambda_1.$$

Diese Größe y muß $\geqq (l + r)$ sein. Wenn man vereinfacht, findet sich:

$$l \frac{\operatorname{tg} \lambda_1}{b_2} (a_2 \operatorname{tg} h + c_2) \geqq r.$$

Links erhält man den Wert $0{,}926\,4291\, r$, also würden die beiden Ellipsen einander schneiden. Es muß also entweder, bei gleicher Form des Prismas, r etwas verkleinert, d. h. die Öffnung (Gesichtsfeld) des Prismas verringert werden, oder es sind andere Werte für ε_1 und ε_2 zu wählen. Letzteres soll im folgenden Beispiel geschehen.

2. Beispiel. Für ein geradsichtiges Porroidprisma ist gegeben: $\sphericalangle\, \varepsilon_1 = 65^0$, $\sphericalangle\, \varepsilon_2 = 45^0$. Nach den obigen Formeln erhält man:

$A = 0{,}589\,3031$,	$B = 0{,}281\,9002$
$\frac{\cos^2 \varepsilon_2}{2\, b_1^{\,2}} = 0{,}333\,6120$,	$\frac{2\, b_1^{\,2}}{\cos^2 \varepsilon_2} = 2{,}997\,4941$
$b_1 = 0{,}894\,8079$,	$a_1 = \cos \varepsilon_1 = 0{,}422\,6183$
$b_2 = 0{,}512\,6618$,	$c_1 = 0{,}268\,3660$
$a_2 = 0{,}212\,0714$,	$c_2 = -0{,}834\,8187$
$C_{12} = -0{,}610\,9700$,	$C_{23} = -0{,}474\,3558$
$C_{14} = -0{,}498\,7470$,	$\operatorname{tg} \lambda_1 = 0{,}299\,9143$
$\sin \lambda_1 = 0{,}296\,1091$,	$\cos \lambda_1 = 0{,}987\,3124$
$x_1 = -0{,}642\,7876$,	$x_2 = -0{,}342\,8733$
$y_1 = 0{,}756\,3251$,	$y_2 = 0$
$z_1 = 0{,}226\,8327$,	$z_2 = -0{,}953\,7792$.
$\operatorname{tg} h = 0{,}359\,4882$,	$\cos h = -0{,}806\,1439$
$l = r \cdot 2{,}295\,2665$,	$\lambda_1 = 17^0\, 13'\, 27''$
$h = -19^0\, 50'\, 36''$,	$\psi_2 = 116^0\, 27'\, 18''$
$\psi_3 = 95^0\, 55'\, 23''$.	$A_0 A_1 = 2{,}144\,5067 \cdot r$
$A_1 A_2 = 2{,}862\,0575 \cdot r$,	$A_2 A_3 = 1{,}707\,9648 \cdot r$
$A_3 A_4 = A_1 A_2$,	$A_4 A_5 = A_0 A_1$.

Sind α_1, β_1, γ_1; α_2, β_2, γ_2; α_3, β_3, γ_3 die Winkel, welche die kleinen Achsen der Reflexionsellipsen auf den Flächen I, II, III mit den Koordinatenachsen bilden, so ist

$$\alpha_1 = 90^0, \qquad \beta_1 = 90^0 + \lambda_1, \qquad \gamma_1 = \lambda_1,$$

also

$$\cos \alpha_1 = 0, \qquad \cos \beta_1 = -0{,}296\,1091, \qquad \cos \gamma_1 = 0{,}987\,3124.$$

Ferner wird:

$$\cos\alpha_2 : \cos\beta_2 : \cos\gamma_2 = y_1 z_2 : z_1 x_2 - x_1 z_2 : y_1 x_2$$
$$\cos\alpha_3 : \cos\beta_3 : \cos\gamma_3 = -y_1 z_2 : z_1 x_2 - x_1 z_2 : -y_1 x_2 .$$

Man erhält daher:

$$\cos\alpha_2 = +0{,}699\,2111$$
$$\cos\beta_2 = +0{,}669\,6235$$
$$\cos\gamma_2 = -0{,}250\,3895$$

und

$$\cos\alpha_3 = -0{,}699\,2111$$
$$\cos\beta_3 = +0{,}669\,6235$$
$$\cos\gamma_3 = +0{,}250\,3895 .$$

Die Winkel ψ_2 und ψ_3, um welche die zweite Einfallsebene gegen die erste, und die dritte gegen die zweite verdreht sind, erhält man durch:

$$\cos\psi_2 = \cos\alpha_2 \cos\alpha_1 + \cos\beta_2 \cos\beta_1 + \cos\gamma_2 \cos\gamma_1$$
$$\cos\psi_3 = \cos\alpha_3 \cos\alpha_2 + \cos\beta_3 \cos\beta_2 + \cos\gamma_3 \cos\gamma_2 .$$

Die Winkel siehe bei der Zusammenstellung der Werte.

Es wird ferner der Ausdruck:

$$l \frac{\operatorname{tg}\lambda_1}{b_2}(a_2 \operatorname{tg} h + c_2),$$

d. h. der Abstand der Schnittlinie von Fläche II und III von der Vertikalebene der Lichtachse

$$A_2 A_3 = 1{,}018\,5950 \cdot r,$$

womit die Möglichkeit des Lichtdurchganges zwischen Fläche II und III für die volle Öffnung erwiesen ist.

3. Beispiel. Ein besonders einfacher Fall der Porroidprismen ergibt sich, wenn die zweite und die dritte Fläche senkrecht auf der yz-Ebene stehen. Man könnte die Formeln hierfür aus den allgemeinen Formeln von § 8 ableiten. Leichter ist es, sie direkt aus der Figur des Grundrisses in der yz-Ebene für den Strahlengang des gebrochenen Lichtzylinders herzuleiten. Auch hier soll ein geradsichtiges Prisma, ohne Seitenverschiebung der Lichtachse konstruiert werden. a_1, a_2, a_3, a_4 (letzterer Punkt fällt mit a_1 zusammen) seien die Horizontalprojektionen der Mittelpunkte A_1, A_2, A_3, A_4 der Reflexionsellipsen, welche der Lichtzylinder an den vier Flächen bildet. Die erste und vierte Ellipse erscheinen in der Fig. 11 als Kreise, die zweite und dritte Ellipse als Strecken von gleicher Neigung gegen die y-Achse. a_1, a_2, a_3 bilden ein gleichschenkliges Dreieck, dessen Symmetrielinie die y-Achse ist. Die Neigung der ersten Fläche gegen die yz-Ebene (diese sei durch die Mitte von $A_1 A_4$ gelegt) sei ε_1 und der Winkel, den die vertikalprojizierende Ebene ihrer Normale mit der xy-Ebene bildet, sei λ_1, so fällt der Strahl $A_1 A_2$ mit dem Fallwinkel $(2\varepsilon_1 - 90)$ von A_1 gegen A_2, und da die Normale $A_2 N_2$ von Fläche II parallel der yz-Ebene verläuft und Einfalls- und Reflexionswinkel einander gleich sind, so sind auch ihre Projektionen auf die yz-Ebene einander gleich, d. h. im Grundriß halbiert, die Projektion der Normalen $a_2 n_2$ den $\sphericalangle (a_1 a_2 a_3)$ und die zweite und dritte Fläche halbieren die Außenwinkel des gleichschenkligen Dreiecks $a_1 a_2 a_3$ bei a_2 und a_3. Durch ihren Schnittpunkt B geht die zur x-Achse parallele Schnittkante und der Strahl $A_2 A_3$ durchdringt die yz-Ebene in der Mitte M von $a_1 a_2$. Sollen die Reflexionsellipsen II, III einander in B berühren, so muß $MB = r$ sein, und wenn der Lichtzylinder von II

bis III ohne Störung im Glas verlaufen soll, so muß der durch Fläche I und IV gebildete Einschnitt in das Glas gerade noch außerhalb dieses Lichtzylinders liegen, also muß $a_1 M \gtreqless MB$ sein.

Bei A_2 bilden der Einfallswinkel ε_2, seine Projektion $(a_1 a_2 n_2) = \left(45^0 - \frac{\lambda}{2}\right)$ und der Fallwinkel des Strahles $A_1 A_2 = (2\varepsilon_1 - 90^0)$ ein rechtwinkliges Dreikant, daher ist

$$\cos \varepsilon_2 = \sin 2\varepsilon_1 \cos\left(45^0 - \frac{\lambda}{2}\right). \qquad 26)$$

Der ganze Fall der Lichtzylinderachse von A_1 bis M_1 muß gleich der Höhe des Punktes A_1 über der yz-Ebene sein. Wird daher $a_1 a_2$ mit d bezeichnet, also $a_2 M$ mit $d \sin \lambda$, so erhält man:

$$\frac{d}{r}(1 + \sin \lambda) = -\operatorname{tg} \varepsilon_1 \operatorname{tg} 2\varepsilon_1. \qquad 27)$$

Ferner ergibt sich aus der Fig. 10:

$$MB = A_2 M \operatorname{tg}\left(45^0 + \frac{\lambda}{2}\right)$$

oder

$$\frac{d}{r} \sin \lambda \operatorname{tg}\left(45^0 + \frac{\lambda}{2}\right) = 1. \qquad 28)$$

Endlich muß $a_1 M \gtreqless 2r$ sein, also für den Grenzfall

$$\frac{d}{r} \cos \lambda = 2. \qquad 29)$$

Fig. 11.

Dividiert man 28) durch 29), so erhält man:

$$\operatorname{tg} \lambda \operatorname{tg}\left(45 + \frac{\lambda}{2}\right) = \frac{1}{2}. \qquad 30)$$

Hieraus durch leichte Rechnung:

$$\operatorname{tg} \frac{\lambda}{2} = (\sqrt{2} - 1)^2$$

$$\operatorname{tg} \lambda = (\sqrt{2} - 1),$$

also

$$\lambda = 22\tfrac{1}{2}{}^0$$

$$\cos^2 \lambda = \frac{\sqrt{2} + 1}{2\sqrt{2}}; \qquad \sin^2 \lambda = \frac{\sqrt{2} - 1}{2\sqrt{2}}.$$

Dividiert man Gleichung 27) durch 28), so erhält man

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{\operatorname{tg}^2 \varepsilon - 1}{2 \operatorname{tg}^2 \varepsilon_1}$$

$$\operatorname{ctg}^2 \varepsilon_1 = 1 - 2 \operatorname{tg} \lambda.$$

Setzt man für $\operatorname{tg} \lambda$ seinen Wert $(\sqrt{2} - 1)$, so erhält man

$$\operatorname{ctg} \varepsilon_1 = (\sqrt{2} - 1)$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = (\sqrt{2} + 1),$$

also

$$\varepsilon_1 = 67\tfrac{1}{2}{}^0.$$

Setzt man die Werte von λ und ε_1 in 26) ein, so ergibt sich:

$$\cos \varepsilon_2 = \sin 45^0 \cos 33^0 45'$$

oder

$$\varepsilon_2 = 53^0 50' 41{,}09''.$$

Bezogen auf den Radius r als Einheit ist:

die Höhe des ganzen Prismas zwischen den Endflächen $9{,}656\,8544 \cdot r$,
die Länge parallel der xy-Ebene: $4\,r$,
die Breite parallel der xz-Ebene: $3{,}353\,7088 \cdot r$,
Weg der Lichtachse vom Eintritt bis A_1: $2{,}414\,2136 \cdot r$.
Lichtweg $A_1 A_2 = 3{,}061\,4676 \cdot r$,
Lichtweg $A_2 A_3 = 2{,}343\,1460 \cdot r$,
Ganzer Lichtweg: $13{,}294\,5084 \cdot r$.

4. Kapitel.

Prismen mit fünf totalreflektierenden Flächen.

§ 10. Geradsichtiges Aufrichteprisma.

Es soll ein Prisma konstruiert werden, das nicht ablenkt, keine Seitenverschiebung der optischen Achse nach dem Austritt des Lichtes aus dem Prisma zeigt, aber das Bild eines Gegenstandes umwendet, d. h. rechts und links vertauscht. Solche „Aufrichteprismen" dienen dazu, um ein durch einmalige Spiegelung schon umgewendetes Bild entweder vollständig umzukehren, d. h. links und rechts, oben und unten zu vertauschen, oder durch nochmalige Vertauschung von links und rechts wieder richtig zu stellen, d. h. aufzurichten. Die Umwendung des Bildes wird durch die ungerade Anzahl der spiegelnden Flächen erreicht. Zur Parallelität dor Achsen des einfallenden und des austretenden Lichtzylinders sind mindestens drei Flächen erforderlich. Bei drei Flächen kann eine Seitenverschiebung nur dann verhindert werden, wenn der ganze mittlere Lichtweg in einer Ebene bleibt, aber dann sind große Einfallswinkel unvermeidlich. Dies wird bei fünf Flächen nicht eintreten. Die fünf Flächen sollen der Einfachheit halber so angeordnet werden, daß, wenn die x-Achse mit der Achse des einfallenden und des austretenden Lichtzylinders zusammenfällt, die zweite, dritte und vierte Fläche mit der x-Achse parallel gehen, also auf der horizontalen yz-Ebene senkrecht stehen. Die Normalen der ersten und der fünften Fläche bilden mit der positiven x-Achse die Winkel ε und $(180 - \varepsilon)$. Die Normalen der zweiten und der vierten Fläche bilden in der yz-Ebene entgegengesetzt gleiche Winkel mit der y-Achse. Die dritte Fläche steht auf der y-Achse senkrecht. Die kreisförmigen Eintritts- und Austrittsöffnungen liegen parallel mit der yz-Ebene. An der zweiten, dritten und vierten Fläche projiziert sich der Einfallswinkel der Lichtzylinderachse auf die yz-Ebene in gleicher Größe wie der Reflexionswinkel, weil die Normale jeder dieser Flächen in die yz-Ebene fällt. Setzt man nun voraus, daß die Einfallswinkel an allen fünf Flächen gleich groß, also gleich ε sind, und bezeichnet man die Projektion des Einfallswinkels auf die yz-Ebene mit u, so bildet an jeder der Flächen II, III, IV die einfallende Lichtachse, ihre Projektion auf die yz-Ebene und die Flächennormale ein rechtwinkliges Dreikant, in welchem die Hypotenuse gleich ε, die eine Kathete gleich u, die andere Kathete gleich $(2\,\varepsilon - 90^0)$ ist. Daher wird:

$$\cos \varepsilon = \cos u \cos (2\,\varepsilon - 90^0)$$
$$= 2 \cos u \sin \varepsilon \cos \varepsilon,$$

also

$$\left.\begin{aligned}\sin\varepsilon &= \frac{1}{2\cos u},\\ \text{hieraus}\qquad \operatorname{tg}^2\varepsilon &= \frac{1}{4\cos^2 u - 1}\end{aligned}\right\} \qquad 1)$$

Fig. 12 stellt die Projektion der einzelnen Strahlenzylinder auf die yz-Ebene dar. Aus ihr ergibt sich $c\,3 = r$, daher:

$$A_2 A_3 = 2\,r\,\operatorname{tg} u$$

und

$$A_2\,3 = \frac{r}{\cos u},$$

also die Breite jeder Fläche

$$4\,r\sin\varepsilon \quad [\text{wegen } 1)].$$

Ferner findet man aus dem Dreieck $A_1 A_2 A_3$:

$$A_1 A_2 : A_2 A_3 = \sin u : \sin 3\,u\,,$$

also

$$A_1 A_2 = \frac{2\,r\operatorname{tg} u\sin u}{\sin 3\,u}.$$

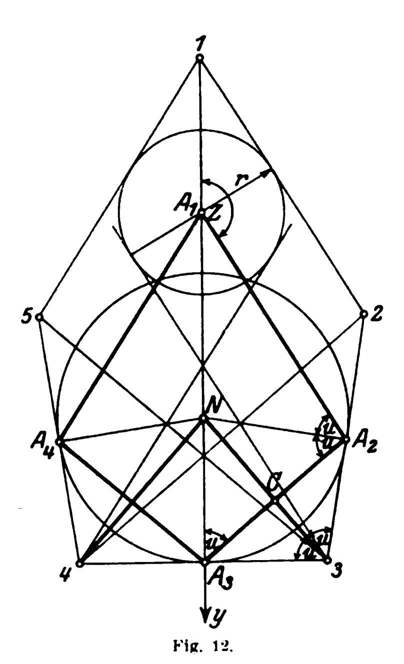


Fig. 12.

Nun haben die Lichtachsen von der ersten bis zur fünften Fläche stets dieselbe Neigung gegen die yz-Ebene, nämlich $(2\,\varepsilon - 90^0)$, daher ist der ganze Fall der Lichtachse von A_1 bis A_3 gleich $(A_1 A_2 + A_2 A_3)$ $\operatorname{tg}(2\,\varepsilon - 90^0)$, also gleich:

$$r\,\frac{2\operatorname{tg} u\operatorname{ctg} 2\,\varepsilon\,(\sin u + \sin 3\,u)}{\sin 3\,u}.$$

Diese Vertikaldistanz muß aber, wenn keine Seitenverschiebung der Lichtachse stattfinden soll, gleich dem halben Abstand zwischen A_1 und A_5, also gleich $r\operatorname{tg}\varepsilon$ sein. Man erhält somit die Gleichung:

$$\frac{2\operatorname{tg} u\,(\sin u + \sin 3\,u)}{\sin 3\,u} = -\operatorname{tg}\varepsilon\operatorname{tg} 2\,\varepsilon.$$

Diese Gleichung kann aufgelöst werden, wenn man in der rechten Seite, wegen Gleichung 1), ε in u ausdrückt, auf der linken Seite $\sin 3\,u$ durch $\sin u\,(4\cos^2 u - 1)$, $\sin u$ durch $\sqrt{1 - \cos^2 u}$ ersetzt. Man würde dann eine unbequeme kubische Gleichung für $\cos^2 u$ erhalten. Einfacher ist folgender Weg. Der Ausdruck links ist:

$$\frac{4\operatorname{tg} u\sin 2\,u\cos u}{\sin 3\,u},$$

der Ausdruck rechts:

$$-\frac{1}{\cos 2\,u},$$

folglich:

$$\frac{2\sin 4\,u\sin u}{\sin 3\,u} = -1$$

oder:

$$\underline{\sin 3\,u + \cos 3\,u = \cos 5\,u.} \qquad 2)$$

Die Gleichung wird durch sukzessive Annäherung mit Hilfe der Tafeln der natürlichen Werte von sin und cos rasch aufgelöst. Um die Lösung mittels der Logarithmentafel zu erreichen, quadriert man 2), ersetzt $2 \sin 3u \cos 3u$ durch $\sin 6u$ und erhält:

$$-\sin 6u = \sin^2 5u. \tag{3}$$

Auflösung:

I	II	III	IV
u	$(3u - 90^0)$	$(5u - 180^0)$	$\cos(3u - 90^0)$
50^0	60^0	70^0	0,500 00
$\Delta = -1'$	$\Delta = -3'$	$\Delta = -5'$	+ 75,6
$49^0\,50'\,36''$	$59^0\,31'\,30''$	$69^0\,12'\,30''$	0,507 1624
$\Delta = +\frac{1}{100}''$	$59^0\,31'\,30''$	$69^0\,12'\,30''$	− 1,3
$49^0\,50'\,36{,}58''$	$59^0\,31'\,49{,}74''$	$69^0\,13'\,2{,}9''$	0,507 0799

V	VI	VII	VIII	IX
$\cos(5u - 180^0)$	(IV + V)	$\sin(3u - 90^0)$	(VI − VII) = Fehler	Verbesserung von u
0,342 02	0,842 02	0,866 03	− 0,2401	} 9′ 36″
+ 136,5	+ 212,1	− 43,8	+ 256	
0,354 9710	0,862 1334	0,861 8505	+ 2829	} + 6,58″
− 2,3	− 3,6	+ 0,7	− 4,3	
0,354 8219	0,861 9018	0,861 8991	+ 2,7	

Endgültiger Wert für $u = 49^0\,50'\,36{,}58''$.

$\sin u = 0{,}764\,2858$, $\cos u = 0{,}644\,8777$, $\operatorname{tg} u = 1{,}185\,1484$, $\cos(180^0 - 3u) = -0{,}861\,8946$, $\cos \varepsilon = 0{,}650\,4795$, $\varepsilon = 49^0\,25'\,20{,}06''$, $\sin(2\varepsilon - 90^0) = 0{,}153\,7530$, $\operatorname{tg}(2\varepsilon - 90^0) = 0{,}155\,6032$, $\overline{A_1}\,\overline{A_2} = r \cdot 3{,}617\,5153$, $\overline{A_2}\,\overline{A_3} = r \cdot 2{,}395\,5718$, $A_1 A_3 = r \cdot 4{,}607\,9751$, $1\,A_1 = r \cdot 1{,}972\,0466$.

$\sin 2u = 0{,}985\,7188$, $\cos 2u = -0{,}168\,2698$, $\sin 3u = 0{,}507\,0874$, $\sin \varepsilon = 0{,}759\,5239$, $\operatorname{tg} \varepsilon = 1{,}167\,6354$, $(2\varepsilon - 90^0) = 8^0\,50'\,40{,}12''$, $\cos(2\varepsilon - 90^0) = 0{,}988\,1093$, $A_1 A_2 = r \cdot 3{,}574\,5005$, $A_2 A_3 = r \cdot 2{,}370\,2968$, $\overline{A_0}\,\overline{A_1} = r \cdot \operatorname{tg} \varepsilon = r \cdot 1{,}167\,6354$

Die kleine Achse der Ellipse I hat die Zenitdistanz 90^0 und das Azimut $(270^0 - 3u)$, **die kleine Achse von Ellipse II hat die Zenitdistanz $h = (2\varepsilon - 90^0)$ und das Azimut $(90^0 - 2u)$. Die kleine Achse von Ellipse III hat die Zenitdistanz $(2\varepsilon - 90^0)$ und das Azimut -90^0.** Daher sind die Richtungskosinusse:

$\cos \alpha_1 = 0$, $\cos \beta_1 = -\sin 3u$, $\cos \gamma_1 = \cos 3u$,

$\cos \alpha_2 = \cos(2\varepsilon - 90^0)$, $\cos \beta_2 = \sin(2\varepsilon - 90^0) \sin 2u$, $\cos \gamma_2 = \sin(2\varepsilon - 90^0) \cos 2u$,

$\cos \alpha_3 = \cos(2\varepsilon - 90^0)$, $\cos \beta_3 = 0$, $\cos \gamma_3 = -\sin(2\varepsilon - 90^0)$.

Zahlenwerte:

$\cos \alpha_1 = 0$, $\cos \alpha_2 = 0{,}988\,1093$, $\cos \alpha_3 = 0{,}988\,1093$,

$\cos \beta_1 = -0{,}507\,0874$, $\cos \beta_2 = 0{,}151\,6582$, $\cos \beta_3 = 0$,

$\cos \gamma_1 = 0{,}861\,8946$, $\cos \gamma_2 = -0{,}025\,8720$, $\cos \gamma_3 = -0{,}153\,7530$.

Verdrehungswinkel zwischen I und II: ψ_1

„ „ II und III: ψ_2;

$$\cos\psi_1 = -0{,}099\,2971$$
$$\cos\psi_2 = +0{,}965\,7110$$
$$\psi_1 = 84^0\,18'\,4{,}6''$$
$$\psi_2 = 15^0\,2'\,50{,}1''.$$

Danach läßt sich ein Modell für den Strahlengang herstellen.

§ 11. Rückkehrprisma mit fünf Spiegelflächen.

Es soll in bezug auf die xz-Ebene symmetrisch sein. Die x-Achse sei horizontal gegen vorn, die y-Achse horizontal nach rechts, die z-Achse nach oben gelegen.

$$a_5 = a_1, \quad b_5 = -b_1, \quad c_5 = c_1,$$
$$a_4 = a_2, \quad b_4 = -b_2, \quad c_4 = c_2.$$

Die dritte Fläche steht auf der Symmetrieebene senkrecht, also $b_3 = 0$. Dann wird:

$$C_{15} = 1 - 2\,b_1^2$$
$$C_{24} = 1 - 2\,b_2^2$$
$$C_{14} = C_{25} = C_{12} - 2\,b_1 b_2.$$

Soll ein Rückkehrprisma entstehen, so muß für $x = -1$, $y = 0$, $z = 0$ auch $x_5 = +1$, $y = 0$, $z = 0$ sein; ebenso für $x = 0$, $y = -1$, $z = 0$, auch $x_5 = 0$, $y_5 = +1$, $z_5 = 0$ und für $x = 0$, $y = 0$, $z = -1$ auch $x_5 = 0$, $y_5 = 0$, $z_5 = +1$. Setzt man diese Werte in den allgemeinen Ausdrücken des § 2 Gl. 7) ein, so erhält man neun Gleichungen für die Größen a_1, b_1, c_1; a_2, b_2, c_2; a_3, c_3; C_{12}; C_{23}; C_{13}, wobei aber die neuen Gleichungen zum Teil identisch sind, zum andern Teil leicht auseinander abgeleitet werden können. Zu weiterer Bestimmung der Unbekannten werde noch vorausgesetzt, daß die Endflächen auf der x-Achse senkrecht stehen und daß für die Achse des senkrecht durch die Endflächen dringenden Lichtzylinders die Einfallswinkel an allen Flächen gleich seien. Hierzu genügt wegen der Symmetrie, daß:

$$\cos\varepsilon_1 = \cos\varepsilon_2 = \cos\varepsilon_3$$

ist, wo

$$\cos\varepsilon_1 = a_1$$

wird. Die erste, zweite, dritte, fünfte der erwähnten Gleichungen erhalten nach einiger Rechnung die Form:

$$\{a_3 - 2\,a_1 C_{13} - 2\,a_2 C_{23} + 4\,a_1 C_{12} C_{23}\}^2 + 4\,\{a_1 b_1 + a_2 b_2 - 2\,a_1 b_2 C_{12}\}^2 = 1. \quad 4)$$

$$\{(a_3 - 2\,a_1 C_{13} - 2\,a_2 C_{23} + 4\,a_1 C_{12} C_{23})(-2\,b_1 C_{13} - 2\,b_2 C_{23} + 4\,b_1 C_{12} C_{23})\} + $$
$$+ 4\,\{(a_1 b_1 + a_2 b_2 - 2\,a_1 b_2 C_{12})(-\tfrac{1}{2} + b_1^2 + b_2^2 - 2\,b_1 b_2 C_{12})\} = 0. \quad 5)$$

$$\{(a_3 - 2\,a_1 C_{13} - 2\,a_2 C_{23} + 4\,a_1 C_{12} C_{23})(c_3 - 2\,c_1 C_{13} - 2\,c_2 C_{23} + 2\,c_1 C_{12} C_{23})\} + $$
$$+ 4\,\{(a_1 b_1 + a_2 b_2 - 2\,a_1 b_2 C_{12})(a_1 c_1 + a_2 c_2 - 2\,a_1 c_2 C_{12})\} = 0. \quad 6)$$

$$\{(-2\,b_1 C_{13} - 2\,b_2 C_{23} + 4\,b_1 C_{12} C_{23})\}^2 + 4\,\{-\tfrac{1}{2} + b_1^2 + b_2^2 - 2\,b_1 b_2 C_{12}\}^2 = 0. \quad 7)$$

Aus der Gleichheit der Einfallswinkel an den drei ersten Flächen, also wegen der Symmetrie an allen Flächen, folgt dann für die Achse des parallel zur x-Achse eintretenden Lichtzylinders:

$$a_1 = a_2 - 2\,a_1 C_{12} \qquad 8)$$

und

$$a_1 = a_3 - 2\,a_1 C_{13} - 2\,a_2 C_{23} + 4\,a_1 C_{12} C_{23} \qquad 9)$$

oder wegen Gleichung 8):

$$a_1 = a_3 - 2\,a_1 (C_{13} + C_{23}). \qquad 10)$$

Um die Größen C_{13} und C_{23} in den übrigen auszudrücken, bedenke man, daß die Einfallsebene für die Lichtzylinderachse an der dritten Fläche auf der Symmetrieebene senkrecht steht und den Strahl $A_2 A_3$ enthält, dessen Richtungskosinusse x_2, y_2, z_2 sind, daher ist:

$$\cos j_3 = a_3 = -\frac{x_2}{\sqrt{x_2^2 + z_2^2}}$$

und

$$\sin j_3 = c_3 = -\frac{z_2}{\sqrt{x_2^2 + z_2^2}}.$$

Nun ist aber

$$x_2 = -1 + 2a_1(a_1 + a_2)$$
$$z_2 = 2a_1(c_1 + c_2),$$

daher

$$(x_2^2 + z_2^2) = 1 - 4a_1^2(b_1 + b_2)^2. \qquad 11)$$

Wenn man in 4) die Gleichungen 9) und 10) einsetzt, so erhält man:

$$1 = a_1^2 + 4a_1^2(b_1 + b_2)^2. \qquad 12)$$

Dies in 11) eingesetzt, gibt:

$$\sqrt{x_2^2 + z_2^2} = a_1,$$

daher:

$$\left.\begin{array}{l} a_2 = \dfrac{1 - 2a_1(a_1 + a_2)}{a_1} \\ c_3 = -2(c_1 + c_2) \end{array}\right\}. \qquad 13)$$

und

Es bedeuten aber C_{12} und C_{23} nach § 2:

$$C_{13} = a_1 a_3 + c_1 c_3$$
$$C_{23} = a_2 a_3 + c_2 c_3,$$

da $b_3 = 0$ ist. Folglich ist nach leichter Rechnung:

$$\left.\begin{array}{l} C_{13} = -1 - 2C_{12} + 2b_1(b_1 + b_2) \\ C_{23} = -1 + 2b_2(b_1 + b_2) \end{array}\right\}. \qquad 14)$$

Da aber in Gleichung 7) die Summe zweier Quadrate verschwindet, so müssen beide Klammerausdrücke gleich Null sein, also:

$$b_1^2 + b_2^2 - 2b_1 b_2 C_{12} = \tfrac{1}{2}, \qquad 15)$$

somit

$$C_{12} = \frac{-1 + 2b_1^2 + 2b_2^2}{4b_1 b_2}. \qquad 16)$$

Nennt man ε den Einfallswinkel der Lichtachse, so ist nach Gleichungen 4), 9) und 10):

$$(b_1 + b_2) = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{tg}\,\varepsilon. \qquad 17)$$

Es fehlt nun noch eine Bedingung zur vollständigen Bestimmung der Flächenrichtungen. Es soll beispielsweise angenommen werden, daß die beiden Kantenwinkel, welche die zweite Fläche gegen die erste und die dritte bildet, einander gleich sind. Dann sind je zwei aufeinanderfolgende Flächen gleich gegen einander geneigt. Man erhält aus Gleichungen 15) und 14,2) nach kurzer Rechnung mit Hilfe von 17):

$$-1 + 2\,\mathrm{tg}^2\varepsilon - 4b_2^2\,\mathrm{tg}^2\varepsilon + 8b_2^3\,\mathrm{tg}\,\varepsilon = 0. \qquad 18)$$

Aus dieser Gleichung erhält man b_2 für beliebig gewählten Einfallswinkel ε. Aus 17) erhält man dann b_1, aus 15) C_{12}, aus 8) a_2, aus 13) a_3 und c_3, c_1 und c_2 aus:

$$\left.\begin{array}{l} c_1^2 = 1 - a_1^2 - b_1^2 \\ c_2^2 = 1 - a_2^2 - b_2^2 \end{array}\right\}. \qquad 19)$$

und

Zur Probe dient die letzte der Fundamentalgleichungen:

$$(c_3 - 2\,c_1 C_{13} - 2\,c_2 C_{23} + 4\,c_1 C_{12} C_{23})^2 + 4\,(b_1 c_1 + b_2 c_2 - 2\,b_2 c_1 C_{12})^2 = 1\,. \qquad 20)$$

Auf Beispiele kann hier wegen der verhältnismäßig seltenen Anwendung von Rückkehrprismen, insbesondere solcher von fünf Spiegelflächen, füglich verzichtet werden.

Schlußbemerkung. Bei dieser Arbeit wurde der blinde Verfasser von seinem jungen Freunde, Herrn stud. math. A. Roth, in liebenswürdigster Weise dadurch unterstützt, daß dieser die Niederschrift des Textes und der Zeichnungen nach meinem Diktat übernahm und die numerischen Rechnungen unter meiner ständigen Anleitung und Kontrolle mit Hilfe der Rechenmaschine durchführte. Es sei ihm dafür der wärmste Dank ausgesprochen.

Theorie absoluter Vorlesungs-Elektrodynamometer.

Von

H. Hermann in Tübingen.

Die Rücksicht auf Zeiteinsparung zugunsten neuer Stoffgebiete ebenso wie die Rücksicht auf die Technik der neueren absoluten Strommessungen drängt dazu, bei Vorträgen über das Ganze der Elektrizitätslehre die geschichtliche Koppelung der absoluten Meßkunst mit der Magnetometrie der Dauermagnete zu lösen und sie an die Elektrodynamik zu knüpfen. Die für die Vorführung solcher Messungen bestimmten Instrumente müssen so geformt werden, daß die Berechnung der Stromstärke aus Abmessungen und Kräften weder allzu weitläufige mathematische Abschweifungen noch den Hörern noch nicht geläufige Hilfsmittel erfordert. Solche Formen sollen im folgenden behandelt werden.

Für die Verfertiger der Instrumente möge der Hinweis vorausgeschickt werden, daß alle mehrfachen Windungen aus zwei unabhängigen, nebeneinanderlaufenden Drähten gebildet werden müssen, deren betriebsmäßige Hintereinanderschaltung irgendwo gelöst werden kann, damit man sich schon in der Werkstatt und wieder vor dem Gebrauch vom Isolierzustand überzeugen kann, indem man die beiden Drähte trennt und auf verschiedenes Potential bringt. Bei der Wohlfeilheit, mit welcher Vorlesungsgeräte heute gemacht werden müssen, ist diese Prüfung dringend erforderlich; sie hat übrigens selbst bei wissenschaftlichen Instrumenten zu merkwürdigen Überraschungen geführt [1]).

1. Stromkraftmesser nach Grimsehl.

Dieses zuerst in den *Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaften II, Heft 2. S. 19ff.* beschriebene Instrument dürfte infolge seiner Wiedergabe in dem verbreiteten Grimsehlschen Lehrbuch [2]) heute das bekannteste seiner Art sein.

[1]) Ayrton, Mather und Smith, *Phil. Trans. A* **207**, *S. 496. 1907/1908.*

[2]) Grimsehl, Lehrbuch der Physik. 1. Aufl. *S. 896;* 4. Aufl. Bd. II. *S. 300.* Man vergleiche ferner Fr. C. G. Müller, *Zeitschr. f. physikal. u. chem. Unterr.* **20.** *S. 374. 1907,* wo die unten erwähnte Kritik geübt wird. — Das Instrument wird als Teil des Grimsehlschen „Feldapparats" von Leybolds Nachf., Köln, verfertigt.

Das Instrument hat einen mehrfachen Kreisleiter vom mittleren Halbmesser 10π cm und einen beweglichen radialen Leiter von 17,8 cm (so daß der von ihm überstrichene Kreis 1000 qcm Fläche hat). Durch ein Feld von der auf den Mittelpunkt bezogenen Intensität 10 *Gauß* wird der von einem Dekaampere durchflossene radiale Leiter um 360^0 verdrillt.

Das hierbei auf den Leiter ausgeübte Drehmoment ist 2π-mal kleiner als der durch den von ihm überstrichenen Kreis dringende Kraftfluß. Grimsehl legte anfänglich bei der Berechnung desselben den Mittelpunktswert der Feldstärke zugrunde, wurde jedoch auf die starke Ungenauigkeit dieser Rechnung hingewiesen; im Grimsehlschen Lehrbuch ist daher die Berechnung nicht mehr im einzelnen gegeben.

Die strenge Berechnung des Kraftflusses mit Hilfe der Nivenschen Tafel[1] benutzt als Argument den Winkel, dessen Sinus das Verhältnis des geometrischen Mittels der beiden Kreishalbmesser (Spulenhalbmesser A, Radialleiter a) zu ihrem arithmetischen Mittel ist: $2\sqrt{Aa}:(A+a)$, bei Grimsehls Instrument arcsin $0{,}9613 = 74^0\,{}^1/_4{}'$; die zugehörige Funktion hat den Brigg. Logarithmus $0{,}889415 - 1$; hieraus folgt der Kraftfluß für die Feldstärke Eins $M = 4\pi\sqrt{Aa}$-mal dieser Funktion $= 230{,}6$. Dasselbe Ergebnis kann man auf dem von Nagaoka[2]) angegebenen Wege mit Hilfe der q-Tafel aus Jacobis Abh. zur numerischen Berechnung der elliptischen Funktionen erhalten; man bedarf von der Reihe

$$M = 4\pi\sqrt{Aa}\cdot 4\pi q^{3/2}(1 + 3q^4 - 4q^6 + 9q^8 - 12q^{10}\ldots)$$

mit dem aus Jacobis Tafel zu entnehmenden Wert von $\log q = 0{,}19296 - 1$ dreier Glieder für das vierziffrige Ergebnis $M = 230{,}6$.

Die Mittelfeldstärke würde (aus einer Windung berechnet) $M = 200$ liefern, also ist eine Erhöhung des Rohwertes von M um $15{,}3\,^0/_0$ erforderlich.

Man kann diese Verbesserung durch unmittelbare Entwicklung in der von Wilhelm Weber[3]) benutzten Weise ermitteln.

Die Entwicklung kann aus den Grayschen Formeln für den Kraftfluß beliebig ausgedehnter zylindrischer Spulen[4]) durch Spezialisierung im voraus entnommen werden; sie beginnt mit

$$M = a^2 x\cdot\frac{2\pi}{A}\left(1 + \frac{3}{8}\frac{a^2}{A^2} + \frac{15}{64}\frac{a^4}{A^4} + \frac{175}{1024}\frac{a^6}{A^6} + \frac{2205}{16384}\frac{a^8}{A^8}\ldots\right).$$

Beim Grimsehlschen Instrument lautet die Klammer

$$1 + 0{,}1216 + 0{,}0244 + 0{,}0057 + 0{,}0015 = 1{,}153.$$

Die unmittelbare Entwicklung ohne offene Verwendung höherer Transzendenten ist nicht schwierig; es zeigt sich nur sogleich, daß man dabei über den Potenzexponenten, bei welchem abgebrochen werden soll, im voraus entscheiden muß. Nach obigem

---

[1]) Maxwell, Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus, deutsch von Weinstein, Bd. 2, Anhang; auch in Jahnke-Emde, Funktionstafeln *S. 79.*

[2]) Nagaoka, *Phil. Mag.* **6.** *S. 27. 1903;* C. G. J. Jacobi, Werke I. *S. 363. 1881.*

[3]) Wilhelm Weber, Werke III. S. 452—454. 1893.

[4]) Gray, *Phil. Mag. 5 S.* **33.** *S. 68. 1892.* In Gl. 2) dieser Abh. *S. 64* ist Z_i unter dem zweiten Integralzeichen durch Z_i' zu ersetzen; in Gl. 12) *S. 67* ist die rechte Seite mit i zu multiplizieren. Für das letzte Glied der Reihe sind die erforderlichen Hilfsausdrücke

$$K_9 = -\frac{1}{8}\left\{\frac{x_2}{r_2^{17}}\left(4x_2^6 - 21x_2^5a^2 + \frac{35}{2}x_2^3a^4 - \frac{35}{16}x_2a^6\right) + \frac{x_1}{r_1^{17}}\left(-4x_1^6 + 21x_1^5a^2 - \frac{35}{2}x_1^3a^4 + \frac{35}{16}x_1a^6\right)\right\}$$

$$k_9 = 2\xi_2^9 - 18\xi_2^7\alpha^2 + \frac{63}{2}\xi_2^5\alpha^4 - \frac{105}{8}\xi_2^3\alpha^6 + \frac{63}{64}\xi_2\alpha^8 - 2\xi_1^9 + 18\xi_1^7\alpha^2 - \frac{63}{2}\xi_1^5\alpha^4 + \frac{105}{8}\xi_1^3\alpha^6.$$

wird für Vorlesungszwecke das Abbrechen bei $a^4 : A^4$ genügen. Man benötigt hierzu des Gesetzes der exzentrischen Feldstärke in der Kreisstromebene, welches sich in folgende anschauliche Form bringen läßt [1]):

$$F = JU : (A^2 - a^2),$$

wo F die Feldstärke in dem um a exzentrisch gelegenen Punkt des Kreisleiters vom Halbmesser A; J die Stromstärke; U den Umfang der Ellipse mit der großen Halbachse A und der linearen Exzentrizität a bedeutet.

Die Potenzreihe für den Ellipsenumfang kann bei realistischen Abiturienten als bekannt vorausgesetzt werden; sie findet sich z. B. in dem Junkerschen Schulbuch der Analysis § 59. In der angegebenen Beschränkung lautet sie

$$U = 2\pi A\left(1 - \frac{a^2}{4A^2} - \frac{3a^4}{64A^4}\right).$$

Des Vergleichs mit den früheren Ergebnissen wegen werde wieder statt des Drehmoments auf den radialen Leiter der Kraftfluß durch den überstrichenen Kreis berechnet; er wird

$$M = J\int_0^a 2\pi a\,da \cdot F = J\int_0^a da\,(64A^4a - 16A^2a^3 - 3a^5) : (64A^6 - 64A^4a^2);$$

mittels abgebrochener Division

$$= 4\pi^2 AJ\int_0^a \left(\frac{a}{A^2} + \frac{3}{4}\frac{a^3}{A^4} + \frac{45a^5}{64A^6}\right) da$$

$$= \frac{2\pi J}{A}\cdot a^2\pi\left(1 + \frac{3}{8}\frac{a^2}{A^2} + \frac{15}{64}\frac{a^4}{A^4}\right).$$

2. Ringanker-Dynamometer.

Man bewickle einen unmagnetischen Hohlzylinder von 8 cm innerem, 12 cm äußerem Halbmesser mit beispielsweise 500 Windungen Draht von 0,8 mm Dm. in der Art eines Ringtransformators und hänge ihn in das Feld des Grimsehlschen Kreisleiters so, daß eine Stirnfläche in die Kreisleiterebene fällt. Auf die 500 × 4 cm radialen Drahtes wirkt dann das Feld in einer Stärke, die aus dem Mittelwert von a, hier 10 cm, zu $1 + 3a^2 : 4A^2$ mal dem Mittelpunktswert einfach zu rechnen ist; die höheren Reihenglieder bleiben bei einem Prozent. Die strenge Summierung des Drehmoments ist nach den Entwicklungen des ersten Abschnitts leicht durchzuführen; sie ergibt 6‰ mehr. Rechnet man ein Reihenglied mehr, also Mittelpunktswert mal $1 + 3a^2 : 4A^2 + 45a^4 : 64A^4$, so bleibt der Fehler bei 1‰.

Die andre Stirnfläche muß so gelegt werden, daß die von ihr empfangene Gegenwirkung leicht zu berechnen ist. Hierfür bestehen zwei Möglichkeiten.

Hat man den Satz behandelt, daß in dem Bereich, in welchem die höheren Reihenglieder noch keine Rolle spielen, der Kegel vom erzeugenden Winkel $\Theta = 63\,{}^1/_3{}^0$ um die Figurenachse des Kreisleiters konstante achsenparallele Feldstärkenkomponenten gleich der Mittelpunktsfeldstärke aufweist [2]), so kann man die andere Stirnfläche so

---

[1]) Speiermann bei Fr. C. G. Müller, *Zeitschr. f. physikal. u. chem. Unterr.* **24.** *S. 226. 1911.*

[2]) Kohlrausch, Prakt. Physik. Ziff. 81. Die dort angegebene Belegstelle enthält keine Ableitung. Elementar ist die Ableitung aus Webers Entwicklung (hier Anm. 3, S. 352) möglich; bequemer aus der in Kugelfunktionen geschriebenen Entwicklung von Maxwell, Elektrizität und Magnetismus, Kap. XIV, oder Debye, Enzyklopädie d. math. Wissensch. V 2, Heft 3. *S. 437.* Gl. 121.

legen, daß dieser Kegel die radialen Drahtstücke trifft. Die Gegenkraft ist alsdann gleich der Mittelpunktskraft, angewandt auf die radialen Drahtstücke; wirksam bleibt nur der exzentrische Überschuß $3a^2 : 4A^2$, hier $^3/_{40}$ der Mittelpunktsfeldstärke. Die Achsenlänge des Ringes muß hierbei $a \operatorname{ctg} 63^1/_2{}^0 = 5{,}1$ cm werden.

Hat man die Fernwirkung des Kreisleiters behandelt, so kann man den Ringanker so lang machen, daß für die entferntere Stirnfläche die genäherte Feldstärkenformel in der Achse genügt; ist die Achsenlänge b, so ist die Feldstärke dort genähert $b^3 : A^3$-mal kleiner als im Mittelpunkt. Bei $b = 2{,}4\,A$ ist die Gegenkraft genähert gleich dem exzentrischen Zuwachs der Feldstärke in der Kreisebene, so daß fär das Drehmoment die Mittelpunktsfeldstärke allein in Rechnung zu setzen ist; diese Abmessung dürfte sich somit für Vorlesungszwecke am besten eignen. Verkleinert man Grimsehls Maße auf die Hälfte (Kreisleiter 31,4 cm mittlerer Durchmesser), so erhält der Anker Halbmesser von 4 und 6 cm und eine Achsenlänge von 37,7 cm; ein solches Instrument eignet sich für ziemlich schwache Ströme. Anordnung eines zweiten Kreisleiters in der Ebene der abliegenden Stirnfläche mit dem ersten entgegengesetztem Umlaufsinn verdoppelt die Stromempfindlichkeit.

3. Weißsche Stromwage.

Das Instrument stellt eine Nacherfindung der Helmholtzschen Wage (*Wied Ann.* 59, Tafel VIII; *diese Zeitschr.* ***17.*** *S. 97. 1897*; Graetz, Hdb. d. El. II, Fig. 127) für Vorlesungszwecke dar[1]). In der Mittelgegend eines Kreisleiterfeldes (aus 100 Windungen 0,8 mm Draht, Querschnitt 1×1 cm, in senkrechter Ebene) liegt eine kleine quaderförmige Spule aus 2×50 wagrechten, übereinandergestellten Windungen, drehbar um eine wagrechte Achse in der Kreisebene. Die Rechtecksseitenpaare seien $2\,a$ parallel der Reifenebene, $2\,b$ senkrecht dazu. Das auf die Seiten $2\,a$ wirkende Drehmoment ist für alle übereinander die Quaderwand bedeckenden Windungen gleich groß. a und b sowie die Spulenbreite senkrecht dazu ist gegen den Kreisleiterhalbmesser so klein gewählt, daß die Abweichungen der Feldstärke vom Mittelpunktswert einzeln bis $1\,^0/_0$ ansteigen; da sie sich teilweise aufheben, sind sie für Vorlesungszwecke zu vernachlässigen. Da $b = 1$ cm gewählt ist, ist die Umrechnung des an einer Laufgewichtswage gemessenen Drehmoments in elektrodynamische Kraft erspart. Die erreichbare Genauigkeit der Messung von b ist jedoch, weil zwei Lagen Draht gewickelt sind, gering; das Instrument ist daher mit etwa $5\,^0/_0$ Unsicherheit behaftet.

Beim Gebrauch muß der Hub des Wagebalkens durch Anschläge begrenzt werden, damit die Kontakte nicht aus dem Quecksilber gehoben werden. Ein passendes Laufgewicht braucht nicht mitbestellt zu werden, da man ein solches von 500 Dynen ohne Zeitverlust aus einem Zentigrammreiter, in dessen umgebogene Enden man ein Halbgramm einhängt, herstellen kann.

4. Reifenstromwage mit größerer Innenspule.

Um beim vorigen Instrument b genauer meßbar zu machen, ist zu untersuchen, ob die Spule so gestaltet werden kann, daß die axiale Feldstärkenformel des Kreisstroms außerhalb seiner Ebene ohne wesentlichen Fehler auf die ganze Stirnfläche aus a-Drähten anwendbar bleibt.

Hierzu bedarf man des Ausdrucks für die axiale Feldkomponente des Kreisstroms in einem allgemeinen Raumpunkt. Sie ist nach W. Weber (Anm. 3, S. 352)

---

[1]) J. Weiß, *Ztschr. f. physikal. u. chem. Unterr.* ***33.*** *S. 207. 1920.* Verfertiger Frey, Freiburg i. B.

um ein Glied vermehrt, wobei A wie bisher den Reifenhalbm. (bei Weber a); a die Exzentrizität (Achsenabstand) des Raumpunktes (bei Weber x); b seinen Abstand von der Reifenebene bedeutet

$$\frac{2\pi J A^2}{(A^2+a^2+b^2)^{3/2}}\left(1+\frac{3}{4}(3A^2-2(a^2+b^2))\frac{a^2}{(A^2+a^2+b^2)^2}\right.$$
$$\left.+\frac{21}{32}\left(5A^2-3(a^2+b^2)\frac{A^2a^4}{(A^2+a^2+b^2)^4}\cdots\right)\right).$$

Das letzte Glied macht, wenn das zweite verschwindet, für $a = A$ erst ein Prozent aus, ist also nicht erforderlich. Die beiden ersten lassen sich schreiben

$$\mathfrak{A}\left(1-\frac{3a^2}{2(A^2+b^2)}\cdots\right)\left(1+\frac{3}{4}(3A^2-2a^2-2b^2)\frac{a^2}{(A^2+a^2+b^2)^2}\cdots\right),$$

wo $\mathfrak{A}$ die axiale Feldstärke $2\pi JA^2:(A^2+b^2)^{3/2}$ bedeutet. Das Klammerprodukt wird bis auf höhere Glieder gleich Eins, wenn

$$\frac{(A^2+b^2+a^2)^2}{A^2+b^2}=\frac{(A^2+b^2)^2+2a^2(A^2+b^2)\ldots}{A^2+b^2},$$

also $4b^2 \approx A^2+2a^2$ ist.

Für $a=0$ erhält man den Gaugainschen Punkt. Für endliches a erhält man aus

$$1+\frac{3a^2}{2(A^2+b^2)}-\frac{3}{4}(3A^2-2a^2-2b^2)\frac{a^2}{(A^2+a^2+b^2)^2}=1,$$

genauer

$$8b^2=-3A^2-6a^2+\sqrt{(3A^2+6a^2)^2+16A^4-96A^2a^2-32a^4}.$$

Dies ergibt beispielsweise für $a=A/4$, $b=0{,}409\,A$.

Mit diesem Wert findet man für die linke Seite der Ausgangsgleichung 0,9973, also 3‰ zu wenig. Für $a=A/8$ findet man 1,0052, also 5‰ zu viel. Zeichnet man aus dem Wert 1 für $a=0$ und den beiden genannten Werten eine Fehlerkurve, so findet man, daß die Flächeninhalte der Abweichungen von 1 sich etwa bei $a=0{,}32\,A$ die Wage halten. Die Berechnung ergibt für diesen Wert von a den Wert der linken Gleichungsseite zu 0,9833.

Für ein einfaches Drahtrechteck wäre somit $b=0{,}41\,A$; $a=0{,}32\,A$ unmittelbar verwendbar. Für eine Spule aus solchen Rechtecken, die senkrecht zu ihrer Ebene nebeneinander gelegt werden sollen, ist der berechnete a- oder b-Wert zu groß; vom Achsenabstand $0{,}2\,A$ an werden solche Rechtecke nur noch in schwächeren Feldpunkten liegen, als bei der Rechnung angesetzt wird. Beschränkt man aber a etwas, so läßt sich wieder mit Hilfe der Fehlerkurve für jedes Drahtrechteck vom Achsenabstand s mit Hilfe des mittleren a-Wertes s und des Endwertes $\sqrt{a^2+s^2}$ der unausgeglichene Fehlerflächeninhalt abzählen; anfangs positiv, wird er bald negativ, und die Grenze für s ist erreicht, sobald die den einzelnen Rechtecken entsprechenden Inhalte die Gesamtsumme Null erreichen. Die Fehlerkurven, aus welchen die Fehlerflächeninhalte entnommen werden, müssen dabei so verzerrt werden, wie es der Ersatz der Achsenebene durch eine achsenparallele mit sich bringt; an Stelle der Abszisse a der Fehlerkurve tritt dabei $\sqrt{a^2-s^2}$; über dieser Abszisse wird die Ordinate errichtet, welche vorher über a errichtet war.

Für eine solche Ausgleichsrechnung wurde der Wert $b=0{,}4056\,A$ zugrunde gelegt, weil er eine besonders einfache Berechnung der Achsenpunktsfeldstärke

$\mathfrak{A} = \frac{2\pi J A^2}{\sqrt{(A^2+b^2)^3}}$ ermöglicht; $\mathfrak{A}$ wird für diesen Punkt. $= 10\,J : 2\,A$; also bei mehrfach gewickeltem Reifen gesamte Amperewindungszahl : Durchmesser. Die für $a : A = 0{,}5$; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3 berechneten Fehlerkurven ergaben mit $a = 0{,}25\,A$ für die Achsenabstände $s = 0$; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; Fehlersummen in Promille $\times$ qcm der Zeichenfläche von $+5{,}6$; 6,1; 6,8; 2,4; -13; zusammen 8‰. Man erhält somit ein Instrument der gewünschten Art, wenn man bei $b = 0{,}4056\,A$ die Stirnfläche aus Drähten von $2\,a = 0{,}5\,A$ eine Höhe $2\,s = 0{,}4\,A$ erreichen läßt.

Für den Reifen des Weißschen Instruments würde $b = 5{,}2$ cm werden (bei Weiß 1 cm); $a = 3{,}4$ cm (bei Weiß 1,5 cm); $s = 2{,}6$ cm (bei Weiß 2,5 cm). Die Stirnfläche wird somit 35 qcm gegen 15 bei Weiß. Man kann daher im Interesse genauer Meßbarkeit von a und b sich auf eine Lage Draht beschränken. Zur bequemeren Berechnung empfiehlt sich ein andrer A-Wert als der Weißsche, beispielsweise 10 cm für kleine, 20 cm für große Auditorien. Was leichte Sichtbarkeit der Hauptteile betrifft, dürfte das Instrument unter den hier beschriebenen an erster Stelle stehen.

Ein Rechenexempel für die einschlägigen Sammlungen solcher ist die Frage nach dem maximalen Drehmoment auf ein schmales (a klein) Rechteck im Kreisleiterfeld. Die Antwort ist, daß b hierfür gleich $A : \sqrt{2}$ sein müßte.

5. Spulenstromwage (Solenoiddynamometer).

Trägt man gegen das Instrument 4 wegen des Ausgleichkunstgriffs, dessen Vortrag zu weitläufig wäre, Bedenken, so kann das Feld, das auf die bewegliche Spule wirken soll, auch hergestellt werden durch ein Solenoid, welches sie mit dem nötigen Spielraum gerade umgibt. Die elementare Herleitung für die Feldstärkenformel in der Endebene des Solenoids $2\pi J \cos\psi$, wo ψ die scheinbare Größe des Endflächenhalbmessers vom Mittelpunkt des Solenoids aus gesehen bedeutet, wurde vom Verf. in einer früheren Arbeit angegeben[1]). Ein solches Instrument kann als Vorlesungsmodell der Präzisionsinstrumente von Guthe (*Phys. Rev.* **7** *und* **9**, *1898 und 1899*; Auszug in *Physikal. Zeitschr.* **1.** *S. 235. 1900* und *Ann. d. Physik* **21.** *S. 913. 1906*) betrachtet werden. Letztere haben zwar ebenfalls einfache Rechenformeln, aber deren Herleitung ist nicht einfach.

Für die Ausführung der äußeren Spule von Wert ist der Satz von Jones[2]), wonach die Steigung eines aus einer Schraubenlinie gebildeten Solenoids auf die Feldstärke im Innern ganz ohne Einfluß ist; das Feld hängt wie bei parallelen Kreisströmen nur von der Amperewindungszahl auf die Längeneinheit ab. Man kann also unbedenklich die wünschenswerte Durchsichtigkeit der Außenspule durch genügende Schraubensteigung erreichen.

6. Rechtecksdynamometer.

Die Kraftsumme eines stromdurchflossenen Rechtecks auf ein Stück seiner stromdurchflossenen Mittellinie läßt sich folgendermaßen darstellen. Der Kraftbeitrag des Rechtecks von der Länge $2\,f$ und der Breite $2\,p$ auf ein Mittellinienelement du

[1]) Beiträge zur Darstellung des Elektromagnetismus. *Zeitschr. f. physikal. u. chem. Unterr.* **34.** *S. 49 f. 1921;* hierzu Druckverbesserungen **36.** *Heft 4. Korresp. 1923.*

[2]) Jones, *London Roy. Soc. Proc.* **63.** *S. 202. 1898.*

im Abstand a vom Mittelpunkt ist nach der Müllerschen Formel für die Feldstärke im Rechteck [1])

$$dK = 2J^2\,da\left\{\frac{f-a}{p\sqrt{(f-a)^2+p^2}} + \frac{f+a}{p\sqrt{(f+a)^2+p^2}} + \frac{p}{(f-a)\sqrt{(f-a)^2+p^2}} + \frac{p}{(f+a)\sqrt{(f+a)^2+p^2}}\right\},$$

woraus

$$K = \int_{-a}^{a} dK = 4J^2\left\{\frac{\sqrt{p^2+(f+a)^2}-\sqrt{p^2+(f-a)^2}}{p} + \log\text{nat}\,\frac{f+a}{f-a}\cdot\frac{p+\sqrt{(f-a)^2+p^2}}{p+\sqrt{(f+a)^2+p^2}}\right\}.$$

Diese Formel wird handlicher, wenn $(f-a)$ gegen p so groß ist, daß das Feld über die Strecke $2a$ als homogen gelten kann. Ein solches Feld ist zwar nur linear homogen, es ändert sich aber ringsum in den Raum hinein anfänglich nur um Beträge zweiter Ordnung. Sei v die Verlängerung der Langseiten über a hinaus $(v = f - a)$, so ist für $v = \infty$ die Feldstärke längs a gleich $4J:p$. Für endliches v steigt sie im Endpunkt von a unter dem Einfluß der näheren Rechtecksschmalseite auf $\frac{2J}{p} + \frac{2Jp}{v\sqrt{v^2+p^2}}$. Ist v groß gegen p, so ist dies zusammen $\frac{4J}{p}\left(1+\frac{p^2}{2v^2}\right)$. Wählt man somit die Verlängerung $v = 10p$, so beträgt der Einfluß der Schmalseite $^1/_2$ v. H.; derjenige der zweiten, entfernteren Schmalseite ist entsprechend kleiner. In diesem Fall kann somit das Rechteck als gegensinniges Parallelstrompaar behandelt werden, woraus sich die Kraftformel schneller ableiten läßt.

Soll p auf $1\,^0/_0$ genau meßbar sein, so wird man es nicht viel unter 10 cm wählen können; man erhält also Abmessungen, die sich wohl nur bei festem Anbau an eine Wand, etwa in Verbindung mit der Schalttafel, ausführen lassen. Der verwendete Draht kann dabei als Schalttafelballast dienen.

Der bewegliche Leiter ist ebenfalls als Rechteck zu gestalten, dessen eine Langseite in die Mittellinie des festen Rechtecks gebracht wird. Liegt die andere Langseite in der Drehachse der Bewegung, so ist sie nicht zu berücksichtigen, andernfalls wirkt auf sie die Feldkomponente $4Jp:(p^2+b^2)$, wo b die kurze Seite des beweglichen Rechtecks ist. Für $b = 10p$ wird sie noch ein v. H.; sie ist also bei Mittellage der Drehachse im beweglichen Rechteck im allgemeinen noch zu berücksichtigen.

Ein etwas andres Instrument erhält man, wenn man das bewegliche Rechteck so zwischen die Paralleldrähte legt, daß seine Langseiten gleiche Abstände von ihnen haben. Ist die Schmalseite b gleich dem Paralleldrahtabstand $2p$, so ist das Drehmoment auf die Langseiten, jede von der Länge a

$$\frac{4aJ^2}{p}.$$

Zu einem solchen Instrument ließe sich das Oberbecksche, nur für qualitative Versuche bestimmte Dynamometer, wo es vorhanden ist, leicht vervollständigen [2]).

[1]) *Zeitschr. f. physikal. u. chem. Unterr.* **22.** *S. 145. 1909.* — Herrn Prof. Paschen verdanke ich die Angabe, daß ein Instrument existiert, welches sich hierauf gründet; ich habe es in der Literatur nicht aufgefunden.

[2]) *Zeitschr. f. physikal. u. chem. Unterr. 5. S. 284. 1892,* von Ernecke (Listennummer 8372) ausgeführt.

Referate.

Einfache barometrische Höhenrechnung.

Von Wilhelm Schmidt (Wien). *Zeitschr. f. Vermess.* ***51.*** *S. 267—272. 1922.*

Für einen nicht sehr großen Höhenunterschied h (in Metern) zwischen zwei Orten mit den Barometerständen p_1 und p_2 läßt sich die Babinetsche Höhenformel in etwas veränderter Schreibweise durch

$$h = 8000 \frac{b_1 - b_2}{\bar{b}} \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$

wiedergeben, wenn man $\bar{b} = {}^1/_2 (b_1 + b_2)$ setzt. Diese Formel ist jederzeit leicht durch folgenden Gedankengang ableitbar, wenn man nur im Gedächtnis behält, daß die Höhe der homogenen Atmosphäre 8000 m beträgt: dem mittleren Barometerstand $\bar{b}$ ist die Höhe 8000 m zuzuordnen: der Differenz der Barometerstände $b_1 - b_2$ entsprechend die Höhendifferenz $8000 \cdot \frac{b_1 - b_2}{\bar{b}}$; die Temperatur der Luftsäule bedingt den bekannten Korrektionsterm $\left(1 + \frac{t}{273}\right)$.

An mehreren Beispielen wird nachgewiesen, daß diese außerordentlich einfache Rechnung zu Ergebnissen führt, die bis zu Höhen von 600 m nur um etwa 0,5 Promille von den Werten abweichen, die gewöhnlich unter Berücksichtigung des Wasserdampfgehaltes der Luft, der Veränderung der Schwerkraft mit der Höhe usw. mittels umfangreicher Tafeln abgeleitet werden. Erst bei größeren Höhendifferenzen liefert die vereinfachte Rechnung, die die Methode der Höhenstufen genannt wird, deutlich zu geringe Werte für h. Der Unterschied beträgt bei $h = 1500$ m rund 3 m, bei $h = 2000$ m etwa 10 m. *Henning.*

Über neue Versuche mit dem Ekman-Merz-Strommesser.

Von A. Schumacher und H. Thorade, *Ann. d. Hydrogr. 1923.*

Im Auftrage der Deutschen Seewarte und des Instituts für Meereskunde wurden in den Jahren 1921 und 22 Versuche mit dem Ekman-Merz-Strommesser[1]) bei Sylt und in der Eckernförder Bucht angestellt.

Sie hatten den Zweck, die durch ein eisernes Beobachtungsschiff ausgeübte Deviation der Kompaßnadel des Strommessers in verschiedenen Tiefenlagen zu bestimmen, über deren Größe bis dahin nur wenige unsichere Angaben bekannt waren.

Die Versuche im Jahre 1921 wurden durch „Poseidon“ (Länge = 46 m, Breite = 9 m, Tiefgang = 3,5 m) und Peilboot 2 (Länge = 23 m, Breite = 9 m, Tiefgang = 2 m) im offenen Meere bei Sylt und im Schutze dieser Insel ausgeführt. Sie litten unter der Ungunst der Witterung, so daß nur einige Versuche mit dem Peilboot 2 (Beobachter H. Thiel) bei einer Tiefenlage des Strommessers = 1 m brauchbare Ergebnisse lieferten.

Es hatte sich dabei herausgestellt, daß es schwierig ist, festzustellen, ob die Wellenrichtung des Strommessers der Kielrichtung des Beobachtungsfahrzeuges parallel war, denn durch die infolge Wellenschlages wechselnde Strahlenbrechung können selbst bei sichtbar gebliebenem Apparat bei der Schätzung der Richtung des Strommessers Abweichungen von 10—15° vorkommen, was einwandfrei festgestellt ist.

Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, wurde von den Herren A. Schumacher und H. Thorade ein neues Verfahren ausgearbeitet, welches bei den Versuchen des Jahres 1922 in Anwendung kam.

Um die Beobachtungen in stromfreiem Wasser der Eckernförder Föhrde ausführen zu können, wurde der Propeller abgenommen und die Drehung der Welle durch einen Faden erzielt, der um die Welle gewickelt war und durch ein kleines Gewicht zum Abrollen gebracht wurde. Eine an Stelle des Propellers durch die Welle gestecktes Querstück diente als Bremse.

---

[1]) Vgl. W. Ekman: *Publ. de Circ. Nr. 24,* Kopenhagen 1905 und *diese Zeitschr.* ***43.*** *S. 133. 1923.*

Um den Strommesser parallel zur Kielrichtung zu halten, waren in dieser Richtung zwei mit schweren Bleiloten beschwerte Litzen aus Bronzedraht im Abstande von 44 oder 75 cm vom Schiff angebracht. Zwei Gabeln am Apparat griffen um diese herum.

Da das Peilboot weder stampfte noch schlingerte, konnte somit durch Anholen oder Fieren der Trageleine die Parallelhaltung in beliebiger Tiefe bis zu 20 m gesichert werden. Die Wasserfahne war abgenommen, um ihre Einwirkung beim Schwoyen des Fahrzeugs zu verhindern.

Die Versuche wurden in der Eckernförder Bucht an Bord des Peilboots 2 — Führer Obersteuermann Schultz — ausgeführt. Die Deviation des Bordkompasses wurde auf jedem Kurse neu bestimmt.

Durch geschicktes Manövrieren mit Bug- und Heckanker und unter gelegentlicher Benutzung der Maschine gelang es, die mittlere Abweichung vom Mittelkurs während einer Beobachtung beträchtlich unter $\pm 5^\circ$ zu halten. Die Streuung der Kugeln war dementsprechend sehr gering, meist Null[1]). Die Deviation wurde in den Tiefen 1, 3,5, 7,5, 10, 12,5, 15 und 20 m bestimmt.

1. In der Tiefenlage = 1 m und im Abstande von 40 cm war die Deviation beim Kurse von $280^\circ = 0$, auf dem von etwa 110° wurde sie gleich $\pm 180^\circ$ gefunden. Im Abstande von 75 cm war die größte Deviation bei $75^\circ = 70^\circ$ und die größte negative bei $140^\circ = 55^\circ$. Beim Kurse von 290° wurde sie = 0. Zwischen der Tiefenlage 1 und 3 m ergibt sich aus der Lage der Isoplethen ein singulärer Punkt bei dem Abstand von 40 cm und dem Kurse $= 110^\circ$, an dem die Kompaßnadel des Strommessers jede beliebige Lage annehmen kann.
2. Von der Tiefenlage = 3 m ab findet sich die durch das Peilboot 2 verursachte größte positive Deviation auf ONO-lichem, die größte negative auf SSW-lichem Kurse.
3. Aus den Versuchen mit dem Peilboot 2 ergibt sich, daß bei einem Fahrzeuge seiner Größe von der Tiefenlage = 10 m ab die Deviation im Verhältnis zum Ablesefehler [$\pm 5^\circ$] so gering wird, daß sie vernachlässigt werden kann.
4. Auf einem Fahrzeuge von der Größe des „Poseidon" wird diese Grenze nach Schätzung erst bei 20—25 m erreicht.

Um mit dem Ekman-Merz-Strommesser allein auch in geringen Tiefen brauchbare Ergebnisse erzielen zu können, hält Schumacher drei Wege für angängig:

1. Eine systematische Deviationsbestimmung, welche von Zeit zu Zeit zu wiederholen ist.
2. Die „Sichtmethode", wobei in geringen Tiefen durch das Auge kontrolliert wird, ob die Achse des Strommessers eine der Kielrichtung gleiche azimutale Richtung hat[2]).
3. Das Aufhängen des Strommessers an einer senkrecht zur Kielrichtung ausgebrachten 10 m langen Spiere, welches er aus guten Gründen für nicht empfehlenswert ansieht.

Schließlich teilt Schumacher mit, daß die deutsche Seewarte für Beobachtungen in den oberen Wasserschichten als Ersatz des Ekman-Merz-Apparates einen Jacobsen-Strommesser in Aussicht genommen hat[3]). Dieser hat sich bei Versuchen auf ruhig liegendem Schiff in schlichtem

[1]) Wenn darüber überhaupt ein Zweifel hätte bestehen können, so beweist dies, daß das Streuen der Kugeln und die sie bewirkenden Schwingungen der Magnetnadel, wenn nicht allein, doch jedenfalls gutenteils durch die Meeresströmung erfolgt. Es erscheint wahrscheinlich, daß durch diese im Wasser der Kompaßdose Strömungen erzeugt werden, welche die Kompaßnadel mitnehmen. Es dürfte leicht sein, diese auf ein Minimum zu beschränken und unschädlich zu machen. — Nach der von W. Ekman gegebenen Zeichnung würden beim Versenken des Apparates Luftblasen in der Kompaßdose bleiben. Diese sind dort gänzlich unstatthaft.

[2]) Herr Schumacher hält es für erforderlich, daß eine Störung der Wasserbewegung in den oberen Schichten durch den Schiffskörper untersucht wird. Aus dem von R. Haack veröffentlichten Bericht über Schleppversuche im Dortmund-Ems-Kanal dürfte hervorgehen, daß bei kräftigen Strömungen im Abstande bis 0,75 m eine Drehung des Strommessers um seine senkrechte Achse mit Sicherheit zu erwarten ist.

[3]) Vgl. J. P. Jacobsen, Der Libellenstrommesser. *Publ. de Circ. Nr. 5*, Kopenhagen 1909 und Krümmel, *Handb. d. Ozeanographie 2. S. 430.*

Wasser gut bewährt. Bei Seegang wird die Orbitalbewegung des Windmessers die Tiefenlage des Treibkörpers beeinflussen, die unvermeidlichen Bewegungen des Hecks des Beobachtungsschiffes Spannung und Richtung der Drahtlitze in schwer kontrollierbarer Weise beeinflussen. Der Wert des Apparates wird dadurch voraussichtlich wesentlich herabgemindert werden.

Ich glaube ein Mittel angeben zu können, welches die Verwendung des so zuverlässigen Ekman-Merz-Strommessers auch in geringen Tiefenlagen unbedenklich machen und eine Deviation seiner Kompaßnadel völlig ausschalten würde. Es besteht in der Aufstellung des Strommessers auf einem Doppelboot, d. h. auf einem aus zwei nach dem Modell der nordischen Jollen gebauten, etwa 3,5 m langen und 0,6—0,7 m breiten Boote und einem ihre parallele Lage sichernden Oberbau bestehenden Schwimmkörper.

Das Ganze ist aus leichtem Holz unter tunlichster Vermeidung von Eisen herzustellen. Der Strommesser würde über einem Loch der Plattform zentral aufzustellen sein. Das Doppelboot wäre im Lee des Beobachtungsfahrzeugs mit leichtem Heck- und Buganker zu vertäuen. Statt der Ankerkette würde eine Hanfleine in der Stärke einer Tieflotleine verwendet werden, die es gestattet, das Vertäuen durch 2—3 Mann mit Hand auszuführen. Das Aussetzen und An-Bordnehmen ist durch einen Hebekrahn leicht auszuführen. Die zu erzielenden Vorteile dürften folgende sein:

1. Die Deviation kommt völlig in Wegfall.
2. Die Bewegungen eines an einem Anker liegenden Schiffes in der Kielrichtung werden ebenso wie sein Schwoyen wesentlich verringert.
3. Die Veränderungen der Tiefenlage durch das Schlingern fallen infolge der zentralen Aufstellung des Strommessers fort.

Die Kosten eines solchen Schwimmkörpers ohne Anker und Leine, welche an Bord jedes Beobachtungsfahrzeuges vorhanden sein werden, dürfte sich kaum höher stellen wie eine nach den Erfahrungen von Eckernförde einige Tage erforderlich machende Deviationsbestimmung und der dazu nötigen Fahrten.

In der zweiten von Herrn H. Thorade verfaßten Arbeit wird das Thema „Schiffsmagnetismus und Ekman-Merz-Strommesser“ vom physikalischen Standpunkt besprochen.

Es wird zunächst der Nachweis geführt, daß beim Anbringen des Strommessers an St.B. des Peilbootes und bei geringer Tiefenlage desselben sich dessen Eisenmassen wie der Nordpol eines Magneten verhält, der den Südpol der Kompaßnadel anzieht.

Im zweiten Teile seiner Ausführungen findet der Verfasser, daß in den größeren Tiefenlagen der Schiffskörper mehr als Ganzes auf die Nadel wirkt und etwa einem etwas achterlicher als der Kompaß gelegenen Nordpol zu vergleichen ist.

Im dritten Teile werden die durch die Krängung des Beobachtungsfahrzeugs entstehenden Verhältnisse besprochen und gefunden, daß, wenn die Krängung keine bleibende ist, sondern nur Schlingerbewegungen in Frage kommen, diese zwar eine größere Streuung der Kugeln verursachen werden, die mittlere Lage derselben wird aber nur mit einem geringen Fehler behaftet sein, wenn die Beobachtungszeit über hinreichend viele Schwingungen sich erstreckt. Da die Genauigkeit der Ablesung $= \pm 5^{0}$ ist, so werden die Krängungsfehler außer bei Beobachtungen in geringer Tiefenlage vernachlässigt werden können.

Zum Schluß berichtet Thorade, daß, obwohl die Theorie zu den Beobachtungen auf Peilboot 2 mit den Beobachtungen selbst befriedigend übereinstimmt, es doch nicht gestattet ist, sie auf andere Schiffe, selbst nicht auf Schwesterschiffe zu übertragen.

Die beiden besprochenen Arbeiten sind als wertvolle Beiträge zum besseren Verständnis des Ekman-Merz-Strommessers anzusehen und seien hiermit bestens empfohlen.

A. Mensing.

A New Tone Generator.

Von C. W. Hewlett, *Phys. Rev.* ***19.*** *S. 52. 1922.*

Zwischen zwei flachen Spulen befindet sich eine dünne Metallmembran, die durch einen Rahmen aus isolierendem Material gespannt wird. Der Rahmen trägt auch die Flachspulen, die mit Gleichstrom gespeist werden und so geschaltet sind, daß zwischen ihnen ein radial gerichtetes

Magnetfeld entsteht. Wird dem Gleichstrom in den Spulen ein Wechselstrom übergelagert, so entstehen in der Membran ringförmig verlaufende Ströme, deren Magnetfeld in Wechselwirkung mit dem Magnetfeld der Spulen die Membran zu Schwingungen von der Frequenz des benutzten Wechselstromes veranlaßt. Für eine praktische Ausführung des Apparates werden die Konstruktionsdaten angegeben. Diese Konstruktion wurde mit Erfolg zur Schwingungserzeugung im Bereiche von 500 $\sim$ sec $^{-1}$ bis 25000 $\sim$ sec $^{-1}$ verwendet, sie leistete bei einer Frequenz von etwa 16000 $\sim$ sec $^{-1}$ maximal ungefähr 5700 Erg sec $^{-1}$ (Schwingungsenergie). Für die Erzeugung oberwellenfreier Töne ist es günstig, die Membran aus nichtmagnetischem Material herzustellen; am besten eignete sich Aluminium. Ferromagnetische Membranen liefern zwar bei nicht zu hohen Frequenzen größere Energie, geben aber mehrwellige Töne, da der Kraftfluß in der Membran dem Strom nicht proportional ist. Der Apparat wurde durch einen Röhrensender erregt, indem die Spulen parallel in den Arbeitskreis desselben eingeschaltet wurden. Er eignet sich in dieser Zusammenstellung als Präzisionstonquelle. Ferner läßt er sich in Verbindung mit einem Röhrenverstärker auch als Schallempfänger verwenden.

Eine Telephonanordnung, die das Instrument als Geber und Empfänger (unter Zwischenschaltung eines Verstärkers) enthielt, zeichnete sich durch eine bemerkenswerte Klarheit der Sprachübertragung aus.

In einem folgenden, mehr theoretischen Teil der Arbeit ist die Wirkungsweise des Apparates auf analytischem Wege diskutiert. Nach experimenteller Ermittelung der Feldverteilung in der Umgebung der Spulen werden unter Zugrundelegung spezieller Verhältnisse die Gleichungen für die in der Membran induzierten Ströme abgeleitet; hieraus ergibt sich die Größe der wirksamen Kräfte an verschiedenen Stellen der Membran sowie die Schwingungsamplitude derselben und die Schalleistung. Die Amplitude der aperiodisch schwingenden Membran berechnet sich für niedrigere Frequenzen zu $\frac{J \cdot J_0}{\omega}$, wobei J den Gleichstrom, J_0 die Maximalamplitude des Wechselstromes und ω die Kreisfrequenz darstellt. Messungen der Schwingungsamplitude bei verschiedenen Frequenzen stimmen befriedigend mit den dafür berechneten Werten überein. *Zickner.*

The Phonelescope.

Von Herbert Grove Dorsey. *Journ. Opt. Soc. of Amer.* **6**. *S. 279. 1922.*

Die Bewegung einer Membran wird mechanisch auf eine dünne horizontale Stahlachse übertragen, auf der ein kleiner Spiegel befestigt ist. Eine Elongation der Membran verursacht daher eine Drehung des Spiegels, der in der Ruhelage um 45° gegen die Horizontalebene geneigt ist. Ein durch eine Kollektivlinse konvergent gemachtes Strahlenbündel wird durch einen ebenfalls unter 45° angeordneten, festen Spiegel auf den darüber befindlichen beweglichen Spiegel geworfen, durch den es bei schwingender Membran eine vertikale Bewegung erhält, welche ihrem Verlauf nach durch die Bewegung der Membran bestimmt ist. Nach Auflösung durch einen rotierenden Spiegel mit senkrechter Achse zeichnet das Strahlenbündel auf einem Schirm die Kurvenform der Membranschwingung auf.

Zur Demonstration akustischer und elektrischer Schwingungsvorgänge ist je ein besonderes Einsatzstück vorgesehen. Das für den letzteren Zweck geeignete besitzt die Form eines Telephons.

Das Instrument eignet sich nach Ansicht des Verfassers nicht nur zur Sichtbarmachung sowie zur photographischen Reproduktion akustischer und elektrischer Schwingungsvorgänge, sondern gleichzeitig als Gleichstrom- oder auch als Vibrationsgalvanometer.

Die quantitative Richtigkeit der Kurvenbilder ist offenbar davon abhängig, wieweit der Einfluß der Eigenschwingungen des mechanischen Systems vermieden ist. (Anm. d. Ref.) *Zickner.*

The effect of changes of surface curvature at the focus of an astronomical objectglass.

Von E. Wilfred Taylor, *Trans. Opt. Soc.* **23**. *S. 241—43. 1921/22.*

Der Einfluß, den die Änderung des Krümmungsradius der verschiedenen Flächen eines astronomischen Objektivs auf die sphärische und die chromatische Aberration hat, wird an einem Fernrohrobjektiv von 6 Zoll Öffnung und 90 Zoll Brennweite mit Hilfe der trigonometrischen Durch-

rechnung untersucht, indem ein Radius geändert und die anderen drei konstant auf ihrem ursprünglichen Wert gehalten wurden. Auf die sphärische Aberration wirken die vier Flächen im Verhältnis 3,54 : 12,34 : 15,06 : 1, auf die chromatische Aberration im Verhältnis 3,48 : 1 : 1,34 : 20,24. Die Flächen sind im Sinne der Lichtbewegung gerechnet und der Einfluß der am wenigsten wirkenden Fläche ist als Einheit angenommen.

Hieraus folgert der Verfasser, daß die dritte Fläche wegen ihres großen Einflusses auf die sphärische Aberration so vollkommen wie möglich hergestellt werden soll. Mit dem letzten Radius soll die chromatische Korrektion bewirkt werden, da er auf diese einen großen, auf die sphärische Aberration einen kleinen Einfluß hat. Aus demselben Grunde soll die sphärische Aberration mit dem zweiten Radius korrigiert werden. Weitere Vervollkommnungen können mit Hilfe des ersten Radius erzielt werden.

Natürlich ändert sich die Brennweite etwas, was aber bei diesen Objektiven unwesentlich ist.

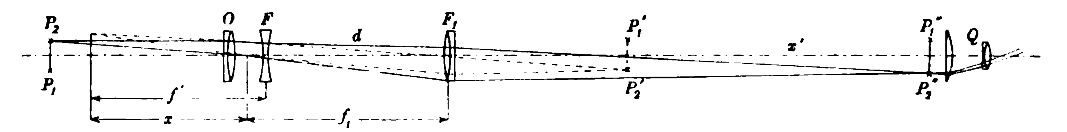
von Hofe.

Eine besonders zum Bestimmen kurzer negativer Brennweiten geeignete Meßmethode.

Von Chr. v. Hofe, *Zeitschr. f. techn. Phys.* **3.** *S. 228. 1922.*

Die im Fernrohrlaboratorium der Optischen Anstalt C. P. Goerz bewährte Methode beruht auf folgender Anordnung.

Die beiden Marken P_1 und P_2, welche in der Bildebene eines Kollimatorobjektives O angebracht sind, werden von dem Objektiv F_1 eines Beobachtungsrohres in dessen hinterer Brennebene in den Punkten P_1' und P_2' abgebildet. Schaltet man zwischen dem Kollimatorobjektiv O und dem Fernrohrobjektiv F_1 eine negative Linse F ein, so wird die Bildebene für die beiden Kollimatormarken verschoben, sie werden abgebildet in den Punkten P_1'' und P_2''. Die Größe der Verschiebung x' kann mit Hülfe des Okulars Q gemessen werden.



Nun wird bekanntlich die Brennweite einer Linse durch Hinzufügen einer zweiten Linse und infolge dessen auch die Vergrößerung nicht geändert, wenn der Abstand der hinzugefügten Linse von der ersten gleich der Brennweite f_1 dieser ersten Linse ist und dann ergibt sich bei der beschriebenen Anordnung zur Berechnung der Brennweite f der zu prüfenden Linse F die einfache Beziehung $f = \frac{f_1^2}{x'}$. Es muß also F im Brennpunkt des Objektives F_1 aufgestellt werden. Die Feststellung, daß solches der Fall ist, geschieht durch die Beobachtung, daß der Abstand der Bilder der Marken P_1'' und P_2'' voneinander derselbe ist, wie derjenige der Markenbilder P_1' und P_2' von einander. Das wird im Okular durch ein Mikrometer gemessen.

Der Verf. beschreibt noch eine Abänderung der Anordnung, um auch den Radius von Kugelflächen bestimmen zu können. Die Bilder der Kollimatormarken werden hier zuerst an einem Planspiegel reflektiert und dann diese Planspiegel durch die zu messende reflektierende Kugelfläche ersetzt. Man erhält also auch hier zwei verschiedene Abbildungsebenen für die Marken. Durch Einschaltung eines auf der Hypotenusenfläche halb durchsichtig versilberten Prismenwürfels werden die auffallenden und die reflektierten Strahlen in ein und dieselbe optische Achse gebracht.

Der Verf. führt noch die Ergebnisse von Vergleichsversuchen mit seinem Apparat und dem Abbé-Fokometer an, welche gut übereinstimmen. *H. Krüss.*

Verlustmessungen an Kondensatoren.

Von E. Giebe und G. Zickner, *Arch. f. Elektrotechnik* **11.** *S. 109. 1922.*

Für Präzisionsmessungen des Verlustwinkels von Kondensatoren wird eine Brückenmethode benutzt, bei der die Phasenabgleichung nicht, wie bei der bekannten Wienschen Methode, durch

Vorschalten eines Widerstandes vor einen verlustfreien Vergleichskondensator, sondern durch Parallelschalten eines Kondensators zu einem der Widerstände erreicht wird. Die kontinuierliche Veränderlichkeit der Einstellung erweist sich gegenüber der Wienschen Methode besonders bei Kondensatoren von großem Kapazitätswert als vorteilhaft. Sämtliche Teile der Brücke sind vollständig abgeschützt. Die Anwendung des Substitutionsverfahrens bei der Messung ermöglicht die Elimination fast aller durch die Anordnung bedingten Korrektionen. Als verlustfreies Vergleichsnormal diente entweder die Kapazitätsdifferenz zweier Einstellungen eines Drehkondensators von geeigneter Konstruktion oder die Teilkapazität beider Belegungen eines zu diesem Zwecke gebauten abgeschützten Luftkondensators gegeneinander, welche mit Hilfe fester Dielektrika nur gegen die Schutzhülle isoliert sind, während ihre Teilkapazität gegeneinander kein festes Dielektrikum enthält. Auf diese Weise wurde eine Anzahl von Normal-Luftkondensatoren der Reichsanstalt untersucht. Innerhalb der Messgenauigkeit von 1—2″ konnten Verluste nicht nachgewiesen werden.

Die Untersuchungen wurden ferner auf technische Glimmer- und Luftkondensatoren ausgedehnt. An zwei verschiedenen Typen von mehrstufigen Glimmerkondensatoren wurde gezeigt daß die besonders bei den kleineren Stufen verhältnismäßig großen Verluste (bis zu etwa 10 Bogenminuten bei einer Frequenz von 800 Per. pro Sek., bei 50 Per. pro Sek. noch erheblich größer) weniger auf schlechte Beschaffenheit des Glimmermaterials als vielmehr in erster Linie auf die zusätzliche Kapazität zurückzuführen sind, die bei Ausschaltung aller Stufen noch zwischen den Klemmen des Kondensators verbleibt und deren Dielektrikum meist aus Substanzen mit schlechten dielektrischen Eigenschaften besteht. Ein ganz analoges Verhalten wurde bei Drehkondensatoren beobachtet, wie sie für die Zwecke der Hochfrequenztechnik gebräuchlich sind. Ihre Verluste sind meist von gleicher Größenordnung als die von guten Glimmerkondensatoren gleicher Kapazität Durch eine zweckmäßig angeordnete Abschirmung lassen sich solche Kondensatoren in dielektrischer Hinsicht häufig nicht unerheblich verbessern. Es wird ferner eine Schaltung angegeben, bei deren Anwendung derartige Drehkondensatoren sogar als Vergleichsnormale für Brückenmessungen verwendbar werden.

Drehkondensatoren mit kleinem Plattenabstand tönen häufig unter Belastung mit höheren Spannungen, wodurch die Verluste eine weitere Vergrößerung erfahren.

Die Meßresultate werden in Tabellenform mitgeteilt.

Für die Konstruktion von verlustfreien Drehkondensatoren ergeben sich demnach folgende Gesichtspunkte:

1. Vollständige Abschützung.
2. Sparsamste Verwendung fester Dielektrika.
3. Anordnung der festen Dielektrika, am besten Quarzglas, zwischen Belegungen und Hülle, nicht aber zwischen den Belegungen.
4. Isolierung beider Plattensysteme von der Schutzhülle kann für manche Meßzwecke vorteilhaft sein, ist aber, wenn 1, 2 und 3 innegehalten, nicht unbedingt erforderlich.
5. Bei Isolierung nur eines Plattensystems ist es zweckmäßig, das feste System zu isolieren und das bewegliche mit der Hülle zu verbinden. *Zickner.*

Die Messung von Kapazitäten und großen Widerständen mittels intermittierenden Röhrengenerators.

Von S. Rschewkin und B. Wwedensky, *Physikal. Zeitschr.* ***23.*** *S. 150. 1922.*

In den Gitterkreis eines Röhrensenders mit magnetischer Rückkoppelung ist ein Kondensator C mit großem parallelgeschaltetem Widerstand R gelegt. Dann ladet sich beim Einsetzen der Schwingungen das Gitter in ähnlicher Weise wie bei der Audionschaltung negativ auf, wodurch die Schwingungen nach kurzer Zeit wieder erlöschen. Kondensator und Gitter entladen sich nun über den oben genannten Widerstand nach der bekannten Exponentialfunktion bis zu einem Potentialwert, bei dem die Schwingungen wieder einsetzen. Hierauf beginnt das Spiel von neuem. Bei genügend großer Amplitude und Frequenz der Schwingungen ist die Dauer des Schwingungszustandes klein gegen die Entladungsdauer, deren Größe im wesentlichen durch den Wert des

Kondensators und des parallel liegenden Widerstandes bestimmt ist. Bei großen Werten von C und R kann die Entladungsdauer τ einige Stunden betragen, bei kleinen nur Bruchteile von Sekunden, sodaß man in einem mit dem Generator gekoppelten Telephon einen Unterbrechungston erhält. Auf diese Weise kommt zuweilen auch das Selbsttönen von Verstärkern zustande. Rechnerisch bestimmt sich τ durch den Ausdruck

$$\tau = -RC \cdot \lg \frac{V_x}{V_0},$$

wobei V_x und V_0 die Grenzwerte der Gitterspannung bezeichnen, bei denen die Schwingungen ein- bzw. aussetzen. Die überdies vorhandene Frequenzabhängigkeit von τ erklärt sich aus der Theorie des Anlaufsvorganges von Vallauri und Harms. Man ersieht aus der Formel, daß sowohl zwischen τ und R als auch zwischen τ und C Proportionalität besteht. Diese wird auch experimentell verifiziert. Die Verfasser gründen hierauf eine Methode zur Messung von C oder R. Die Ausführung der Messung ist nach dem Gesagten klar. Es ist indessen zu beachten, daß die Ableitung des Kondensators oder sonstige Isolationsfehler u. U. zu Fälschungen Anlaß geben können. Die Elimination des letztgenannten Fehlers führt zu einem Korrektionsfaktor für τ.

Die Empfindlichkeit der Methode soll nach Angabe der Verf. zur Untersuchung z. B. lichtelektrischer und radioaktiver Effekte ausreichend sein. *Zickner.*

Bücherbesprechungen.

A. Hund, Hochfrequenzmeßtechnik. Ihre wissenschaftlichen und praktischen Grundlagen. 8°. XIV. 326 S. m. 150 Textabb. Berlin, Julius Springer 1922. Geb. 8.40 Goldmark/2 Dollar.

Das vorliegende Werk von A. Hund ist eine sehr wertvolle Bereicherung unserer Literatur, insbesondere deswegen, weil in ihm sehr anschauliche, graphische Methoden zur Darstellung der Schwingungsvorgänge in Ergänzung zu den mathematischen Ableitungen benutzt werden. Das Lesen der Figuren erfordert allerdings auch eine gewisse Übung.

Da Verfasser bereits seit vielen Jahren in Amerika tätig ist, so sind in dem Buch natürlich die in Amerika üblichen Bezeichnungen und Meßmethoden in den Vordergrund getreten; das erschwert die Lektüre, da die Bezeichnungen z. T. äußerlich mit den in der deutschen Literatur üblichen übereinstimmen, der Bedeutung nach aber zuweilen von ihnen abweichen. Zum Lesen der so außerordentlich stark angewachsenen Literatur über Elektronenröhren dürfte nächstens ein Schlüssel für jeden Schriftsteller erforderlich sein. Bedauerlicherweise ist die deutsche Nachkriegsliteratur recht unvollständig berücksichtigt. Zu bemängeln ist auch, daß bei den Meßmethoden meistens die Angabe der Literatur fehlt.

Ein äußerlicher Mangel des Buches, den man dem Verlag vielleicht ebensogut zur Last legen kann wie dem Verfasser, sind einige unmögliche deutsche Wortbildungen, von denen hier einige als Beispiele genannt seien: Die Braunische Röhre, laminierter Eisenkern, Sieberanordnung, weißheiß, Zurückspeisungstransformator, Verstärkungsvorteil, Röhrenüberallcharakteristik, ferner die recht unglückliche Einteilung der Gleichrichter in reine unvollkommene und unreine vollkommene mit symmetrischer und unsymmetrischer Charakteristik. Es wäre leicht gewesen, diese Schönheitsfehler durch Korrekturlesen beseitigen zu lassen.

Die ersten sechs Kapitel umfassen die Hochfrequenzgeneratoren, Spannungs-, Strom-, Phasen- und Frequenzwechsler sowie die Gleichrichter und Verstärker. Dann folgen die Kapitel, welche die eigentlichen Meßmethoden behandeln, und zum Schluß ein Kapitel über das verallgemeinerte symbolische Verfahren.

Sehr anzuerkennen ist die außerordentlich gute Ausstattung des Buches und die sehr reichliche Beigabe von Figuren. *Alberti.*

Berichtigung.

Die Bemerkung in einem Referat in *dieser Zeitschr., lfd. Jahrg.* (Juli-Heft) S. 236, Z. 13 v. u. beruht, soweit sie sich auf den „Einheitstheodolit" bezieht, auf einem Versehen; Hildebrand hat diese Instrumente, im Gegensatz zu der Angabe von Werkmeister, immer nur mit $^1/_3{}^0$-Teilung, nicht $^1/_4{}^0$-Teilung des Grundkreises ausgestattet. *Hammer.*

Namen- und Sachregister.

Fehlerberichtigung.

S. 272. Fig. 12 ist umzukehren.

S. 277. In der (aus Abs. 6 folgenden) Gl. 9) heißt es im Divisor der rechten Seite $\delta'(1+\eta)$ statt $\delta'(1-\eta)$.

S. 278. 1. Zeile von oben lies $q = 0{,}766$ statt $q = 0{,}776$.

S. 278. 13. Zeile von oben lies $\vartheta' = \varphi - v$ statt $|\vartheta'| + \varphi - v$.

Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1923.

Name	Wohnort	Name	Wohnort
Dr. Alberti	Charlottenburg	Prof. Dr. Fr. Hoffmann	Charlottenburg
Prof. Dr. G. W. Berndt	Friedenau	Prof. Dr. M. Jakob	Charlottenburg
Dr. H. Boegehold	Jena	Dr. L. Janicki (*L. J.*)	Charlottenburg
Dr. Engelhardt (*V. E.*)	Charlottenburg	Hofrat Prof. Dr. O. Knopf	Jena
Dr. J. Frank	Erlangen	Prof. Dr. A. König (*A. K.*)	Jena
Prof. Dr. F. Göpel (*G.*)	Charlottenburg	Prof. Dr. D. h. c. H. Krüss	Hamburg
Dr. O. v. Gruber	München	Prof. Dr. E. Liebenthal (*E. Lb.*)	Charlottenburg
Prof. Dr. E. v. Hammer	Stuttgart	Direktor H. Joachim (*H. J.*)	Cassel
Haußmann		Kapitän a. D. Adolf Mensing	Berlin
Prof. Dr. Henning	Charlottenburg	Prof. Dr. M. v. Rohr	Jena
Dr. v. Hofe		Prof. Dr. J. Zenneck	München

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.



Soeben erschien: *Juli 1923.*

LANDOLT-BÖRNSTEIN
PHYSIKALISCH-CHEMISCHE TABELLEN

FÜNFTE·UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE

UNTER MITWIRKUNG VON

K. ARNDT-CHARLOTTENBURG · O. BAUER-DAHLEM · R. BAUMANN-STUTTGART · H. BEHNKEN-CHARLOTTENBURG · W. BEIN-CHARLOTTENBURG · A. BLASCHKE-CHARLOTTENBURG · W. BÖTTGER-LEIPZIG C. F. BONHOEFFER-BERLIN · H. CASSEL-BERLIN · H. DEMBER-DRESDEN · F. EISENLOHR-KÖNIGSBERG A. EUCKEN-BRESLAU · P. P. EWALD-STUTTGART · R. FÜRTH-PRAG · E. GEHRCKE-CHARLOTTENBURG W. GERLACH-FRANKFURT a. M. · L. C. GLASER-WÜRZBURG · R. GLOCKER-STUTTGART · W. GROTRIAN-POTSDAM · H. GRÜSS-BERLIN · E. GUMLICH-CHARLOTTENBURG · H. v. HALBAN-WÜRZBURG · F. A. HENGLEIN-DANZIG · F. HENNING-CHARLOTTENBURG · W. HERZ-BRESLAU · O. HÖNIGSCHMID-MÜNCHEN L. HOLBORN-CHARLOTTENBURG · R. JAEGER-BERLIN · E. JÄNECKE-HEIDELBERG · M. JAKOB-CHARLOTTENBURG · W. P. JORISSEN-LEIDEN · I. KOPPEL-BERLIN · W. KOSSEL-KIEL · R. KREMANN-GRAZ R. LADENBURG-BRESLAU · O. LIESCHE-HANNOVER · K. LÜBBEN-BERLIN · H. LUNDÉN-GÖTEBORG A. MAHLKE-CHARLOTTENBURG · F. F. MARTENS-BERLIN · W. METZENER-BERLIN · G. MEYER-FREIBURG i. B. · ST. MEYER-WIEN · F. PASCHEN-TÜBINGEN · H. PHILIPP-GREIFSWALD · E. REGENER-STUTTGART · V. ROTHMUND-PRAG · H. RUBENS †-BERLIN · R. SAHMEN-BERLIN · A. SCHMIDT-POTSDAM · O. SCHÖNROCK-CHARLOTTENBURG · W. O. SCHUMANN-JENA · W. SEITZ-AACHEN S. SKRAUP-WÜRZBURG · H. v. STEINWEHR-CHARLOTTENBURG · K. STÖCKL-REGENSBURG H. TERTSCH-WIEN · S. VALENTINER-CLAUSTHAL · B. WANACH-POTSDAM · H. v. WARTENBERG-DANZIG F. WEIGERT-LEIPZIG · G. WENTZEL-MÜNCHEN · L. ZIPFEL-BERLIN

HERAUSGEGEBEN VON

DR. WALTHER A. ROTH UND DR. KARL SCHEEL

PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN BRAUNSCHWEIG

PROFESSOR AN DER PHYSIK.-TECHN. REICHSANSTALT IN CHARLOTTENBURG

MIT EINEM BILDNIS

PREIS IN ZWEI BÄNDEN GEB. GRUNDZAHL 106, SCHWEIZER FR. 225.—

Die nunmehr vorliegende 5. Auflage dieses längere Zeit vergriffen gewesenen großen Tabellenwerkes stellt eine völlig neue Bearbeitung dar, die eine beträchliche Umfangvermehrung zur Folge hatte, so daß sich auch die Notwendigkeit einer Teilung in zwei Bände ergab.

Die Redaktion des Werkes wurde, nachdem auch Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Börnstein aus dem Leben geschieden war, in die Hände der Herren Prof. Dr. Walther A. Roth und Prof. Dr. Karl Scheel gelegt, denen ein auserlesener Mitarbeiterstab hervorragender Fachgenossen zur Seite stand.

Die Herausgeber haben sich bemüht, in dieser 5. Auflage das Buch nicht nur im alten Sinne weiterzuführen, sondern es auch insbesondere entsprechend der seit 1912 gewachsenen Einsicht in den Feinaufbau der Materie auszugestalten.

Diese an sich schon nicht leichten Aufgaben sind durch die Folgeerscheinungen des Krieges, namentlich durch das Beschaffen der fehlenden ausländischen Literatur in hohem Maße erschwert worden. Wenn trotzdem der ursprüngliche Plan des Werkes durchgeführt werden konnte, so ist das nicht nur der Arbeitsfreudigkeit der Mitarbeiter zu danken, sondern auch allen den Fachgenossen, die die Herausgeber mit Rat und Tat unterstützt haben.

Bei der Teilung in zwei Bände war weder eine strenge Trennung nach Chemie und Physik beabsichtigt noch durchführbar. Immerhin findet man im ersten Bande die wichtigsten chemischen Grundkonstanten und die wichtigsten Eigenschaften der gebräuchlichen anorganischen und organischen Verbindungen, sowie die Mineralien, während der zweite Band mit den wichtigsten Konstanten der Atomphysik beginnt, an welche sich optische, elektrische und

thermische Daten anschließen. Auf den Ausbau des alphabetischen Registers ist großer Wert gelegt worden. In einem besonderen Verzeichnis findet man Hinweise auf die Eigenschaften der meist benutzten anorganischen und organischen Stoffe.

Um das Werk laufend auf der Höhe zu halten, ist geplant, in Abständen von rund zwei Jahren Ergänzungsbände herauszugeben, welche die inzwischen veröffentlichten Daten aufnehmen und etwa verbliebene Lücken ausfüllen sollen. Für Hinweise auf solche Lücken und auf Fehler, sowie für Zusendung neuer in- und ausländischer Literatur werden die Herausgeber stets dankbar sein.

INHALTSVERZEICHNIS

Atomgewichte und Radioaktivität.

Erdkonstanten, Schwerkraft, Geographische Lage, Erdmagnetismus.

Reduktion für Wägungen und Drucke.

Elastizität, Festigkeit, Härte, Reibung fester Körper.

Kompressibilität von Flüssigkeiten und Gasen, Gasmoleküle.

Zähigkeit von Flüssigkeiten.

Capillarität.

Diffusion.

Kritische Daten und Zustandsgleichung.

(Tabelle 73—77.)

Spezifisches Gewicht, Schmelz- und Siedepunkte, Polymorphie von Elementen und Verbindungen.

Tabelle 78. Spezifisches Gewicht (Litergewicht) von Gasen. 79. — reiner Substanzen im gesättigt-dampfförmigen und im koexistierend-flüssigen Zustande. 80. — der chemischen Elemente. 81. — fester und flüssiger anorganischer Verbindungen. 82. Schmelzpunkte, Siedepunkte und enantiotrope Umwandlungspunkte der Elemente (Polymorphie). 83. — anorganischer Verbindungen (Polymorphie). 84. Charakteristische Konstanten der wichtigsten organischen Verbindungen. 85. — einiger „krystallinischer" Flüssigkeiten. 86. Spezifische Gewichte verschiedener Materialien.

Spezifisches Gewicht und Ausdehnung von Lösungen.

Tabelle 87. Spezifisches Gewicht wässeriger Lösungen von Salzen, anorganischen Säuren und Basen. 88. — molarer Zusammensetzung. 89. Molekular-Volumina und Kontraktion in wässerigen Lösungen. 90. Änderung des Volumens wässeriger Lösungen mit der Temperatur. 91. Literaturverzeichnis betreffend spezifisches Gewicht von Salzen sowie von anorganischen Säuren und Basen. 92. Das Dichtemaximum von Helium und wässerigen Lösungen. Angaben über die Temperatur des Dichtemaximums. 93. Spezifisches Gewicht gesättigter wässeriger Lösungen. 94. — geschmolzener Salze. 95. — wässeriger Lösungen organischer Säuren. 96. — von Äthylalkohol-Wassermischungen nach Gewichtsprozenten. 97. — Kontraktion und Ausdehnung für verschiedene Alkohole. 98. Die Grundlage der Volumenalkoholometrie. 99. — der deutschen Alkoholometer. 100. Spezifisches Gewicht von Glycerin-Wassermischungen. 101. — wässeriger Lösungen verschiedener organischer Stoffe. 102. — von kolloidalen Lösungen. 103. Literaturverzeichnis über das spezifische Gewicht von Lösungen der Alkohole, der Zuckerarten und anderer organischer Stoffe sowie von Kolloiden. 104. Spezifisches Gewicht, Ausdehnung und Kontraktion von Gemischen. 105. Aräometrische Vergleichstabelle. 106. Spezifisches Gewicht schwerer Flüssigkeiten.

Mineralien.

Tabelle 107. Tabelle der für den Chemiker und Physiker wichtigsten Mineralien. 108. Mineralogische Synonyma zur Ergänzung der vorstehenden Tabelle. 109. Schmelz- und Umwandlungspunkte einiger natürlicher und künstlicher Minerale. Literatur. 110. — natürlicher Minerale. 111. — künstlicher Minerale. 112. Schmelz- und Umwandlungswärmen einiger natürlicher und künstlicher Minerale.

Schmelz- und Erstarrungserscheinungen bei zwei und drei Stoffen. Legierungen.

Tabelle 113. Gefrierpunktserniedrigung von Metallen in sehr verdünnten Schmelzen. 114. Erstarrungskurven binärer Legierungen. 115. Literatur über ternäre Legierungen. 116. Leichtflüssige Legierungen. 117. Spezifische Gewichte von Legierungen. 118. Erstarrungs- und Umwandlungstemperaturen von binären und ternären Salzgemischen. 119. Kältemischungen.

Chemisches Gleichgewicht (Löslichkeit und Absorption).

Tabelle 120. Gleichgewichte zwischen Wasser und anorganischen Stoffen (Löslichkeit in Wasser) 121. — je zweier anorganischer Stoffe. 122. — je zweier organischer Stoffe. 123. Literatur betreffend Gleichgewichte je zweier organischer Stoffe. 124. Löslichkeit einiger organischer Stoffe in Wasser. 125. Löslichkeiten organischer Stoffe in wässerigen Lösungen und Gemischen. 126. Löslichkeit anorganischer Stoffe in reinen organischen Lösungsmitteln und deren Gemischen mit Wasser. 127. Literatur über die Löslichkeit in nichtwässerigen Lösungsmitteln und in deren Gemischen mit Wasser. 128. Verzeichnis der in Tab. 126 aufgeführten Löslichkeiten, nach Lösungsmitteln geordnet. 129. Verteilungskoeffizienten. 130. Gegenseitige Löslichkeit von Flüssigkeiten. 131. Absorption (Löslichkeit) von Gasen in Wasser. 132. — von Gasen in wässerigen Lösungen. 133. Literatur betreffend Absorption und Adsorption der Gase.

Maßsystem, Maßeinheiten, Energie, Lichtgeschwindigkeit.

Tabelle 134. Absolutes Maßsystem. 135. Praktische Maßeinheiten. 136. Festsetzungen des Ausschusses für Einheiten und Formelgrößen. 137. Mechanisches Äquivalent der Wärme. 138. Lichtgeschwindigkeit im Vakuum. 139. Gegenseitiges Verhältnis der verschiedenen Maßeinheiten für Energie.

Atomphysik, Spektrum.

Tabelle 140. Neuere Bestimmungen der Loschmidtschen Zahl N. 141. Elektrisches Elementarquantum, elektrochemisches Äquivalent und einige daraus abgeleitete Konstanten. 142. Spezifische Ladung des Elektrons. 143. Planckscher Wirkungselement. 144. Strahlungskonstanten. 145. Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums. 146. Stärkste Absorptionslinien des ultravioletten und sichtbaren Sonnenspektrums. 147. — des Sonnenspektrums im äußersten Rot und Ultrarot. 148. Literatur betreffend optische Wellenlängen. 149. Ultrarote Wellenlängen. 150. Kompendien und Atlantenwerke mit photographischen Spektren. 151. Optische Serienspektren einiger Elemente. 152. Anregungs- und Ionisierungsspannungen ein- und mehratomiger Gase und Dämpfe. 153. Zahlenwerte der „Terme" von Spektralserien. 154. Absorption und Zerstreuung von Röntgenstrahlen. 155. Krystallstrukturen. 156. Beweglichkeit der Ionen in den wichtigsten Gasen und Dämpfen. 157. Diffusionskoeffizient der Ionen in Gasen. 158. Koeffizient der gegenseitigen Wiedervereinigung der Ionen in verschiedenen Gasen. 159. Entladungsspannungen in Gasen. 160. Kathodengefälle der Glimmentladung. 161. Durchgang von Elektronen (Kathodenstrahlen, β-Strahlen) durch Materie. 162. Langwellige Grenze (rotes Grenzlicht) der lichtelektrischen Wirkung. 163. Resonanzwellenlängen der selektiven lichtelektrischen Wirkung.

Optik. Absorption, Reflexion, Brechung.

Tabelle 164. Lichtabsorption im Sichtbaren und Ultraviolett. 165. Optische Konstanten von Metallen. 166. — von absorbierenden, nichtleitenden Stoffen. 167. — von ausgewählten Krystallen. 168. Einfluß der Temperatur auf die Brechungsindices ausgewählter Krystalle. 169. Literatur betreffend Brechungsindices ausgewählter Krystalle und deren Änderung mit der Temperatur. 170. Brechungsindices optisch isotroper fester Substanzen. 171. Brechungsexponenten einachsiger Krystalle gegen Luft. 172. Brechungsexponenten und Achsenwinkel zweiachsiger Krystalle. 173. Literatur betreffend Brechungsexponenten fester isotroper Substanzen und isotroper, optisch-einachsiger und optisch-zweiachsiger Krystalle. 174. Brechungsexponenten des Wassers gegen Luft. 175. Einfluß des Druckes auf die Brechungsexponenten von Flüssigkeiten. 176. Brechungsexponenten des Schwefelkohlenstoffs in gleichtemperierter Luft. 177. Literatur betreffend Brechungsexponenten des Wassers und des Schwefelkohlenstoffs. 178. Brechungsexponenten von Gasen und Dämpfen. 179. — anorganischer Flüssigkeiten und kondensierter Gase für verschiedene Wellenlängen. 180. — geschmolzener Salze bei 400° C. 181. — ausgewählter organischer Flüssigkeiten gegen Luft. 182. — ausgewählter organischer Flüssigkeiten gegen Luft für verschiedene Lichtarten, deren Dichte sowie Molekularrefraktionen. 183. Mittlere Abnahme der Brechungsexponenten einiger organischer Verbindungen für 1° Temperaturzuwachs. 184. Atomrefraktionen und Dispersionen für die wichtigsten Elemente organischer Körper. 185. Einfluß der Konzentration auf die Brechungskonstanten von wässerigen Lösungen und Mischungen. 186. Einfluß der Temperatur auf die Brechungskonstanten wässeriger Lösungen und Mischungen. 187. Literatur betreffend Brechungskonstanten wässeriger Lösungen und Mischungen.

Optische Drehung.

Tabelle 188. Spezifische Drehung aktiver organischer Substanzen. 189. Optische Saccharimetrie. 190. Drehung der Polarisationsebene des Lichtes in Krystallen. 191. Elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene des Lichtes.

Elektrizität, Elektrochemie.

Tabelle 192. Elektromotorische Kräfte galvanischer Ketten. 193. Thermoelektrische Kräfte von Metallen. 194. Dielektrizitätskonstanten. 195. Elektrische Leitfähigkeit reiner Metalle. 196. Temperaturkoeffizient des elektrischen Widerstandes reiner Metalle zwischen 0° und 100°. 197. Widerstandsverhältnis R_t/R_0 von Platin und Blei unter 0°. 198. — der Metalle. 199. Elektrischer Widerstand geschmolzener Metalle. 200. Einfluß des Druckes auf das Leitvermögen und den Widerstand der Metalle. 201. Spezifischer elektrischer Widerstand und sein Temperaturkoeffizient von verschiedenen Legierungen, die als Widerstände usw. technische Verwendung finden. 202. Abhängigkeit der Leitfähigkeit bzw. des spezifischen Widerstandes einiger Legierungen und seines Temperaturkoeffizienten von der Zusammensetzung. 203. Spezifischer Widerstand gepreßter Graphitpulver. 204. — und sein Temperaturkoeffizient von Halbleitern. 205. — von Isolatoren. 206. Leitfähigkeit geschmolzener und fester Salze. 207. Literatur betreffend elektrische Leitfähigkeit fester und geschmolzener Stoffe. 208. Elektrische Leitfähigkeit wässeriger Lösungen. 209. Äquivalent-Leitvermögen wässeriger Lösungen. 210. Molekulares Leitvermögen wässeriger Lösungen. 211. — anorganischer Säuren und Basen in wässeriger Lösung. 212. Temperaturkoeffizienten des elektrischen Leitvermögens wässeriger Lösungen. 213. Leitvermögen von Normalflüssigkeiten (wässerigen Lösungen) zur Bestimmung der Widerstandskapazität von Gefäßen. 214. Bemerkungen und Literatur betreffend elektrisches Leitvermögen wässeriger Lösungen. 215. Überführungszahlen des Anions in wässeriger Lösung. 216. Ionenbeweglichkeiten und ihre Temperaturkoeffizienten in Wasser und unendlicher Verdünnung. 217. — in Wasser bei 18° und wechselnder Konzentration. 218. Literatur betreffend Überführungszahlen und Ionen-Beweglichkeit. 219. Elektrische Leitfähigkeit nichtwässeriger Lösungen. 220. Nachweis der nichtwässerigen Lösungen, deren Leitfähigkeit gemessen ist. 221. Konstanten der elektrolytischen Dissoziation. 222. Elektrolytische Dissoziation des Wassers. 223. Hydrolyse von Salzen. 224. Löslichkeitsprodukte.

Magnetismus.

Tabelle 225. Magnetisierbarkeit einiger Eisensorten (Nullkurven, Hystereseschleifen, Sättigungswerte). 226. — ferromagnetischer Stoffe und Legierungen. 227. — einiger Eisensorten. 228. — verschiedener Stahlsorten (gehärtet). 229. — von Eisen und Stahl durch kleine Kräfte (Anfangspermeabilität). 230. — von geglühten Fe-Si- und Fe-Si-Ni-Legierungen. 231. Sättigungswerte verschiedener Eisenlegierungen. 232. Magnetische Umwandlungspunkte. 233. Sonstige Literatur betreffend die Magnetisierbarkeit von Eisen, Nickel, Kobalt und Heuslerschen Legierungen. 234. Magnetische Suszeptibilität para- und diamagnetischer Körper.

Thermometrie und Joule-Thomson-Effekt.

Tabelle 235. Temperaturskalen. 236. Korrektionen für den herausragenden Faden bei Quecksilberthermometern. 237. Literatur betreffend Thermometrie. 238. Joule-Thomson-Effekt.

Wärmeausdehnung.

Tabelle 239. Linearer Ausdehnungskoeffizient der chemischen Elemente. 240. — von Legierungen. 241. — von Glas, Porzellan, Eis, Marmor, Krystallen, Hölzern, Isolierstoffen u. dgl. 242. Kubischer Ausdehnungskoeffizient von Legierungen, Amalgamen, Salzen und einigen anderen Stoffen. 243. — verflüssigter Gase. 244. — einiger anorganischer und organischer Flüssigkeiten. 245. Volumen einiger Flüssigkeiten bei verschiedenen Drucken und Temperaturen. 246. Volumen und Ausdehnungskoeffizient einiger organischer Flüssigkeiten bei verschiedenen Drucken und Temperaturen unterhalb 0°. 247. Formeln für die lineare Ausdehnung fester Stoffe und wahrer linearer Ausdehnungskoeffizient bei 20°. 248. Formeln für die kubische Ausdehnung fester Stoffe und wahrer kubischer Ausdehnungskoeffizient bei 20°. 249. — von

Spezifische Wärme.

Wärmeleitfähigkeit.

Sättigungs- und Reaktionsdrucke.

Molekulargewichtsbestimmungen.

Thermochemie.

Akustik.

Zeitschriften.

Fluoreszenz und Phosphoreszenz

im Lichte der neueren Atomtheorie

Von **Peter Pringsheim**

Zweite, verbesserte Auflage. Mit 33 Abbildungen. 1923

GZ. 8.5, Schw. Fr. 8.50

Inhaltsübersicht. Vorwort. – I. Einleitung. – II. Die Resonanzstrahlung. – III. Resonanzspektra. – IV. Die Bandenfluoreszenz von Dämpfen und Gasen. – V. Leuchtdauer und Polarisation der Fluoreszenzstrahlung von Gasen und der Einfluß magnetischer Felder. – VI. Die Fluoreszenz und Phosphoreszenz fester und flüssiger Lösungen. – VII. Die Gruppe der Erdalkaliphosphore. – VIII. Linienfluoreszenz von Kristallen. – IX. Fluoreszenz organischer Verbindungen. – Literaturverzeichnis. – Sachverzeichnis.

Die mathematischen Hilfsmittel des Physikers

Von Dr. **Erwin Madelung**

o. Professor der theoret. Physik an der Universität Frankfurt a. M.

Mit 20 Textfiguren. 1922. GZ. 8.25, gebunden GZ. 10.—, Schw. Fr. 10.—, gebunden Schw. Fr. 11.—

Das vorliegende Werk soll dem Mathematiker und vor allem dem Physiker eine Übersicht geben über das mathematische Handwerkszeug, welches die exakte Behandlung physikalischer Fragen erfordert. Es enthält ohne Beweise eine Zusammenstellung von Formeln, Lehrsätzen, Methoden, kleinen Tabellen, deren sich der Physiker ständig bedienen muß. Neben der eigentlichen mathematischen Analysis, der Lehre von den Vektoren und Tensoren, der Wahrscheinlichkeitsrechnung erfahren auch die wichtigsten Kapitel der mathematischen Physik ihre Behandlung.

Übersicht über den Inhalt (gekürzt):

I. Algebra. A. Lineare Gleichungssysteme. – B. Matrizes und Determinanten. – C. Kombinatorik. – **II. Funktionen.** A. Allgemeine Funktionentheorie. – B. Spezielle Funktionen. – **III. Reihen.** 1. Grundbegriffe. – 2. Konvergenzkriterien. – 3. Wichtige Reihen. – 4. Spezielle Potenzreihen. – 5. Fouriersche Reihen. – 6. Fouriersches Integral. – 7. Zweidimensionale Fouriersche Reihen und Integrale. – **IV. Differential- und Integralrechnung.** 1. Differentiations-Regeln. – 2. Umformung von Differentialausdrücken. – 3. Integrationsmethoden. – 4. Integrationstabelle. – 5. Bestimmte Integrale. – **V. Differentialgleichungen.** A. Allgemeines über Differentialgleichungen. – B. Gewöhnliche Differentialgleichungen. – C. Partielle Differentialgleichungen. – **VI. Lineare Integralgleichungen.** – **VII. Variationsrechnung.** – **VIII. Transformationen.** A. Allgemeines über Transformationen. – B. Koordinaten-Systeme und Koordinaten-Transformationen. – C. Berührungstransformation (Kontakttransformation). – **IX. Vektoranalysis.** A. Koordinatenfreie Formulierung der Vektoranalysis. – B. Koordinatenmäßige Formulierung der Vektoranalysis im n-dimensionalen Raume. – **X. Wahrscheinlichkeitsrechnung.** A. Grundbegriffe. – B. Schwankungen. – C. Mittelwertbildung. – D. Wahrscheinlichkeitsnachwirkung. – E. Einige physikalische Anwendungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung. – **XI. Mechanik.** A. Prinzipien der Mechanik. – B. Mechanik des einzelnen Massenpunktes. – C. Systeme von Massenpunkten. – D. Starrer Körper. – E. Mechanik der Kontinua. – **XII. Elektrizitätslehre.** 1. Elektrostatik. – 2. Elektrokinetik. – 3. Magnetostatik. – 4. Elektromagnetismus. – 5. Elektrodynamik. – 6. Elektrodynamik quasistationärer Ströme. – 7. Elektronentheorie. – 8. Elektromagnetische Wellen (Grundlagen der Optik). – 9. Wellen in anisotropen Medien (Kristalloptik). – 10. Elektrische Maßsysteme. – **XIII. Relativitätstheorie.** A. Grundbegriffe. – B. Vierdimensionale Darstellung der Welt und Relativitätsprinzip. – C. Lorentztransformation. – D. Physikalische Bedeutung vierdimensionaler Vektoren und Tensoren. – E. Elektrodynamik. – F. Elektrodynamik in (bewegten) Medien. – G. Dynamik der Masse. – H. Allgemeine Relativitätstheorie. – **XIV. Thermodynamik.** A. Grundbegriffe. – B. Hauptsätze. – C. Zustandsvariablen. – D. Koeffizienten. – E. Spezialfälle. – F. Prozesse. – G. Zustandsgleichung. – H. Vollständige Systeme. – J. Spezielle Gleichgewichte. – K. Phasentheorie. – L. Massenwirkungsgesetz. – M. Dritter Hauptsatz der Thermodynamik. – Tabellen. – Namen- und Sachverzeichnis.

Seriengesetze der Linienspektren

Gesammelt von **F. Paschen** und **R. Götze**

1922. Gebunden GZ. 11, Schw. Fr. 14.—

Inhaltsverzeichnis. Einleitung (Paschen): I. Allgemeine Serienanordnung. II. Differenzierung der Terme. III. Wie findet man eine Serie und ihre Grenze? IV. Die Quantenbeziehungen der Spektralgesetze. – **Die Serienspektren:** Serienformel des Wasserstoffes und des ionisierten Heliums. – Wasserstoff. – Helium, Funkenspektrum. – Helium, Bogenspektrum. – Neon. – Argon. – Lithium. – Natrium. – Kalium. – Rubidium. – Caesium. – Kupfer. – Silber. – Beryllium. – Kalzium. – Strontium. – Barium. – Radium. – Magnesium. – Zink. – Cadmium. – Quecksilber. – Kohlenstoff, Bor. – Aluminium. – Skandium. – Yttrium. – Lanthan. – Neoytterbium. – Gallium. – Indium. – Thallium. – Silizium. – Sauerstoff. – Schwefel. – Selen. – Mangan. – Zusammenstellung der s-Terme der Bogenspektra. – Tabelle der Differenz ms – (m + 1) s der Bogenspektra. – Tabelle der Terme mp der Bogenspektra. – Tabelle der Differenz mp – (m + 1) p der Bogenspektra. – Tabelle der Terme md der Bogenspektra. – Tabelle der Differenz md – (m + 1) d der Bogenspektra. – Werte $109\,737{,}1/(m+a)^2$ und der Differenzen. – Tabelle der Terme mf der Bogenspektra. – Die experimentell festgelegten Zeemantypen der Serienlinien.

Wohl selten ist das Erscheinen eines Buches so dringend gewünscht und so freudig begrüßt worden, wie es bei diesem der Fall ist. Allerdings ist der Kreis derer, die diesen Wunsch empfanden und für die dieses Buch nun einen notwendigen Bestandteil ihrer Arbeitsbibliothek bilden wird, ein eng umgrenzter, nämlich der Kreis der Forscher, die sich streng wissenschaftlich mit spektroskopischen Fragen beschäftigen . . . Das gesamte über die Seriengesetze der Linienspektren bisher bekannte Tatsachen- und Zahlenmaterial liegt nunmehr kritisch bearbeitet und übersichtlich geordnet vor, fertig zum Gebrauch sowohl für den Spektroskopiker wie auch für den Theoretiker. Alle diejenigen, denen damit ein langjähriger Wunsch erfüllt ist, werden Herrn Paschen und seinen Mitarbeitern, von denen außer R. Götze noch F. Frommel zu nennen ist, Dank wissen, daß sie sich der Mühe unterzogen haben, das gewaltige Zahlenmaterial zu bearbeiten und zusammenzustellen . . . — Für den Theoretiker bildet das in dem Paschenschen Buche niedergelegte Material die Grundlage für alle Berechnungen, die sich mit dem Bau der Atome beschäftigen. „Die Naturwissenschaften."

5. 7. 23. 300.

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Albert Ulrich, Berlin-Steglitz.

